التحليل الديناميكي بمساعدة ساب 2000

المهندس الاستشاري
عماد درويش





هذا الكتاب

تحتوي فصول هذا الكتاب المخصص للمستوى المتقدم على كيفية تنفيذ التحليل الديناميكي للمنشآت المختلفة من خلال الطرق المتاحة في برنامج ساب (SAP 2000 n).

ونظراً لطبيعة وصعوبة الموضوع المطروح فقد كان من الضروري الإسهاب في الشرح النظري لمصطلحات ومفاهيم التحليل الديناميكي، بغية توضيح التعابير والأفكار الرئيسية المتعلقة بهذا النوع من التحاليل. وقد خصص الفصلان الفصلين الأول والثاني من أجل ذلك.

كما كان من الضروري أيضاً إرفاق ملحقين يتناولان بإيجاز الموضوعين التاليين، واللذين يحتلان أهمية بالغة لفهم أسس الديناميك الإنشائي وعمل المنشآت في مجال اللدونة.

A ـ نظرية اللدونة والتحليل اللدن.

B ـ مقدمات في الديناميك وعلم الحركة.

هذا ويتعلق موضوع الفصل الأول مباشرة بأنواع التحاليل التي ينفذها البرنامج وفق متطلبات الكودات المختلفة، وخاصة لحل مسائل المنشآت الخرسانية لمقاومة الزلازل.

لقد افترضنا في هذا الكتاب أن القارئ قد أتقن عمليات النمذجة والتحليل الستاتيكي في البرنامج بعد اطلاعه على موضوعات الجزأين الأول والثاني. وقد تم التذكير بشكل موجز بالتحليل الستاتيكي من خلال الأمثلة التي تناولها الفصل الثالث.

نشير أخيراً إلى أن موضوع التحليل الديناميكي أكبر من أن يتناوله كتاب واحد بكافة تفصيلاته، لذلك اقتصر البحث في هذا الكتاب على موضع التحليل المذكور في برنامج (SAP 2000) فقط، مع التطرق أحياناً لبعض الأفكار الخارجية التي تخدم هذا الموضوع.

المهندس الاستشاري عماد درويش - دمشق ٢٠٠١

دمشق ـ تلفاكس 3119557 بريد إلكتروني (E mail) ـ (eyd @ ureach.com) ص .ب 60059



فهرس الفصل 1 ـ معلومات أساسية...

الفصل 1. معلومات أساسية ...

1 ـ 1 تعاريف

1 ـ 1 ـ 1 التحليل الستاتيكي

يُنجَز التحليل الستاتيكي في برنامج (SAP 2000n) من أجل كل حالة تحميل أو من أجل تراكيب الحمولات المعرَّفة على المنشأ، حيث تعتبر العلاقة بين الأفعال الداخلية والانتقالات خطية (أي أن سلوك المادة مرناً وخطياً).

ويعتمد هذا التحليل في طريقة العناصر المحددة على معادلات التوازن الخطية (F = K . Δ) التي يتم إنشاؤها بشكل مصفوفي حسبما ورد في الفصل الأول من الجزء الأول.

$$\{F\} = [K] . \{\Delta\}$$

حيث {F} شعاع القوى المطبقة في العقد الطرفية للعناصر المحددة. و [K] مصفوفة قساوات العناصر المحددة (مصفوفة القساوة العنصرية). و{Δ} شعاع الانتقالات في العقد المذكورة.

ويقوم البرنامج بتشكيل هذه المصفوفات تلقائياً.

1 ـ 1 ـ 2 التحليل الديناميكي

يعتمد التحليل الديناميكي على التأثير الديناميكي للحمولات المطبقة على المنشأ والمتغيرة مع الزمن من حيث القيمة أو فترة التطبيق.. ويتم من خلال ذلك حساب الاهتزازات الحرة وأنماطها (Modes) وتردداتها وتحليل أطياف الاستجابة والترددات القسرية للمنشأ، بطريقة العناصر المحددة أيضاً

ومن أنواع هذا التحليل التي يقوم بها البرنامج:

1 ـ تحليل أطياف الاستجابة Response Spectrum Analysis

2 ـ التحليل الزمني الخطي واللاخطي (تحليل الحمولات المتغيرة مع الزمن) Time History Analysis
وقد تناول الفصل الثاني هذه الأنواع بالتفصيل مع شرح لكيفية التحليل الطيفي النمطي Spectral Modal Analysis

ـ التحليل اللاخطي:

يأخذ بالاعتبار الانتقالات الكبيرة نسبياً للعقد بسبب القوى الأفقية أو بسبب عدم التناظر تحت الحمولات الشاقولية أو بسبب الإجهادات الحرارية.. ويمكن أن يعدل الحل الخطي على هذا الأساس.. ويعتبر ذلك طريقة من طرق التحليل من الدرجة الثانية.

ـ تحليل (P - Δ)

وهو تحليل لاخطي من الدرجة الثانية يأخذ بالاعتبار تأثير انتقالات عقد أو نقاط تطبيق الحمولات الشاقولية على القوى والعزوم في المنشأ، علاوة على تأثير العزوم المتولدة في نهايات الأعمدة وتأثير الحمولات المحورية على تغير عطالات هذه الأعمدة.

ولا يعتبر تحليل (P - Δ) حالة تحليل مستقلة كما في الحالات السابقة باعتبار أن نتائجه تؤثر على نتائج التحليل الستاتيكي أو الديناميكي أو الحمولات المتحركة. وقد تم شرح هذا التحليل بالتفصيل في الفقرة (1 ـ 4 ـ 2) على الصفحة (11) من الجزء الأول.

1 ـ 2 مقدمة حول التأثير الديناميكي للقوى الزلزالية *

1 ـ 2 ـ 1 طيف الاستجابة Response Spectrum

يعبر هذا المصطلح عن استجابة المنشأ العظمى لتحريض القاعدة بحركة متسارعة مع الزمن ناتجة عن تأثيرات الزلازل. وتتمثل هذه الاستجابة بالتردد الطبيعي للمنشأ والتخامد المتولد فيه.

يمكن من خلال دراسة الاستجابة المذكورة تبني نموذج خطي مرن للمنشأ من خلال ما يسمى بالطيف التصميمي، أو بالطيف التصميمي المعدل بمعامل الأهمية.

ويمكن من أجل ذلك اعتبار الكتل وعزوم العطالة مجمعة في مركز ثقل كل طابق، وذلك مع افتراض أن المقاطع غير متشققة والبلاطات صلبة في مستويها.

* من أجل التوسع في هذا الموضوع انظر الجزء الأول من كتاب المنشآت الخرسانية المقاومة للزلازل ـ إصدار دار دمشق 2000

ويخفض هذا الافتراض عدد درجات الحرية الديناميكي إلى ثلاث درجات في كل طابق (انزياحان أفقيان ودوران حول محور شاقولي).

وتبعا للخواص الإنشائية للمبنى فهناك طريقتان أساسيتان لتحليل طيف الاستجابة هما:

1 ـ تحليل طيف الاستجابة المبسط باعتماد النمذجة الستاتيكية للفعل الزلزالي.

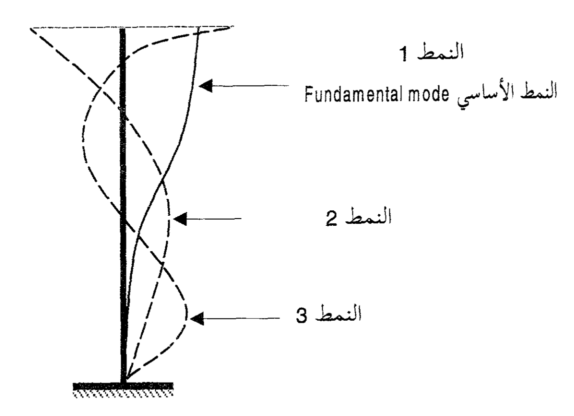
2 ـ تحليل طيف الاستجابة المتعدد الأنماط.

1 ـ 2 ـ 2 التحليل الديناميكي للجمل المرنة ذات درجة الحرية الواحدة (SDOF)

Dynamic Analysis Elastic Single Degree Of Freedom Systems

يمكن دراسة الاستجابة الحركية للمنشآت من تحليل اهتزاز الجملة الإنشائية إلى أنماط الاهتزاز العادية، وذلك بافتراض وجود عدد من هذه الأنماط يقابل عدد درجات الحرية في الجملة المدروسة. ففي كل طور من أطوار الاهتزاز تنوس كل كتلة من الكتل وفق طور واحد. وهذا يعني أنها تمر في كل نوسة من نقطة السكون ومن نقطة الانزياح الأعظمي كما في الشكل (1).

يمتلك كل طور من أطوار الاهتزاز دور خاص به، حيث يعبر هذا الدور عن الزمن الذي تستغرقه النوسة الكاملة.. وهكذا يمكن اعتبار أن كل طور عادي هو جملة ذات درجة حرية واحدة لها دورها الطبيعي الخاص بها. ويكون الطور الأول أو الأساسي للجملة هو الطور ذي الدور الأطول (التواتر أو التردد الأصغر).. (راجع الحركات الاهتزازية في الملحق B).



الشكل 1 ـ الأطوار الطبيعية الثلاثة الأولى لجملة مهتزة.

تقدر استجابة معظم الأبنية بشكل رئيسي عن طريق تراكب الأطوار الطبيعية الأولى للاهتزاز. وسبب ذلك أن الأطوار ذات المرتبة الأعلى تؤثر على المباني المرنة جدا فقط، وعلى استجابة الطوابق العليا منها فقط.

بينت دراسة استجابة الأبنية العالية ذات الجمل الإنشائية الإطارية أن الطور الأساسي يساهم بنسبة (% 80) من الاستجابة الكلية. كما يساهم الطوران الثاني والثالث بنسبة (% 15) منها. وهذا يعني سيطرة مساهمة الدور الأساسي على استجابة المنشأ.

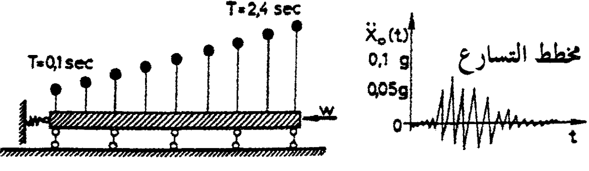
يعرف طيف الاستجابة لزلزال معين بأنه المخطط البياني الذي يمثل فيه المحور الشاقولي القيم العظمى لأحد متحولات الاستجابة مع اهتزاز الأرض (كالانتقال النسبي أو السرعة النسبية أو التسارع) ويمثل المحور الأفقي الدور الطبيعي للجملة ذات درجة الحرية الوحيدة.

ولكل هزة زلزالية أي لكل مخطط تسارع أرضي هناك مجموعة من أطياف الاستجابة. وهذا يعني أن طيف الاستجابة لأي زلزال، يعكس سلوك جميع الجمل وحيدة درجة الحرية من خلال الدور (T).

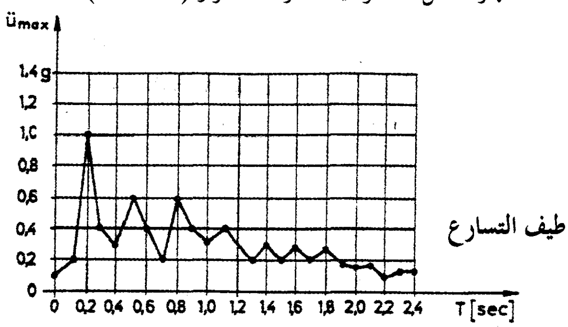
تقل قيم الطيف مع زيادة نسبة التخامد (C) كما في الشكل (2)، فمن أجل قيم كبيرة للتخامد يصبح منحني الطيف أقرب للمستقيم.

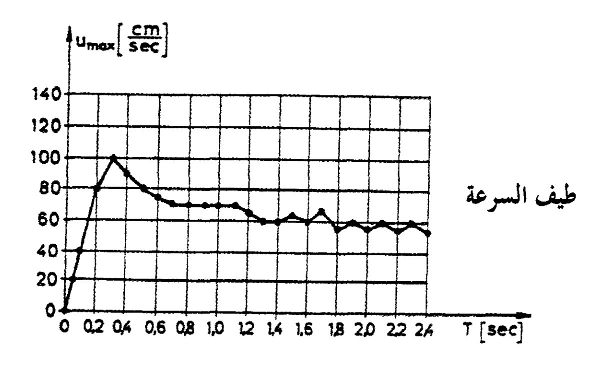
ويمكن بدراسة تغيرات طيف التسارع كتابع للدور (T) مع ملاحظة أنه عندما يكون ($T = 0$) (أي أن المنشأ مطلق القساوة) فإن التسارع الأعظمي الذي تكتسبه الكتلة المهتزة يكون أعظميا. كما يزداد التسارع المطلق للجملة المهتزة (s_a) مع زيادة الدور الطبيعي لها.

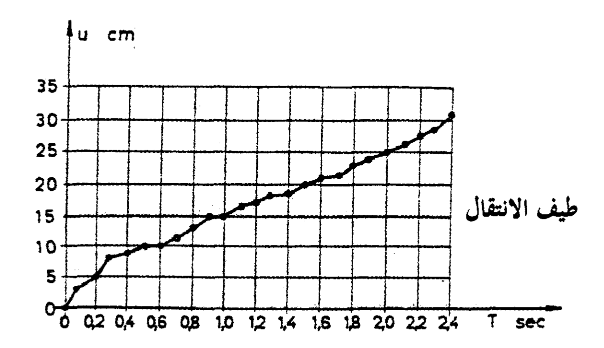
ومن أجل الدور المسيطر أو الدور الأساسي ($T = T_{prevail}$) فإن (s_a) تصل إلى قيمتها العظمى التي تتراوح بين (2) إلى (6) أمثال التسارع $\ddot{x}_0(t)_{max}$ وتظهر هذه القيمة العظمى في الجمل التي يقع دورها الطبيعي بجوار الدور المسيطر للهزة الزلزالية من مخطط التسارع $\ddot{x}_0(t)$ وفي هذه الحالة يكون المنشأ في حالة طنين مع الزلزال.. وتبدأ قيمة (s_a) بالانخفاض في الجمل التي يزيد دورها الطبيعي عن الدور المسيطر ($T_{prevail}$) والتي تكون غالبا جملا مرنة، وذلك بسبب خروج الجملة عن طور الاهتزاز.



منصة مهتزة تحمل جملة وحيدة الحركة بأدوار (2.4 – 0.1) ثانية







الشكل 2 ـ أطياف الاستجابة لجملة ذات درجة حرية واحدة.

في حين أن المباني الصلبة أو منخفضة الارتفاع تكون معرضة لخطر الزلازل عندما تستند إلى تربة قاسية.

1 – 2 – 2 – 1 القوى الزلزالية التصميمية:

تعرف هذه القوى بأنها الحمولات التي تجعل الأفعال الداخلية للمنشأ (من قوى وعزوم) في الحالة الحدية حينما تتراكب من الحمولات الحية والميتة مجتمعةً.

وتُمثَّل الأفعال الزلزالية التصميمية في الكودات الدولية عادةً عند نقطة معينة من سطح الأرض بطيف الاستجابة للتسارع الأرضي المرن.

وينبغي تمثيل المركبة الشاقولية للفعل الزلزالي من خلال نفس طيف الاستجابة المستخدم للمركبة الأفقية مع تخفيض تقييم المركبة الشاقولية وفقاً معاملات يحددها كود التصميم.

يقسم العالم جغرافياً إلى مناطق زلزالية تبعاً للخطورة المحلية بالاعتماد على طيف الاستجابة المرن الذي يُستنتج من خلال الذروة الفعالة للتسارع الأرضي (a_g) في التربة الصلبة أو الصخرية والتي تسمى بالتسارع الأرضي التصميمي. حيث يتوافق هذا التسارع مع تكرار الحدوث خلال عدد معين من السنوات (400 – θ سنة مثلاً)، مع تقدير احتمال عدم تجاوز هذه الذروة خلال عدد أقل من السنوات (لا يتجاور %90 مثلاً خلال 50 سنة مثلاً).

تصنف مناطق التسارع الأرضي التصميمي (a_g) الأصغر من (0.05 g) بأنها مناطق ضعيفة زلزالياً، حيث يطلب فيها القيام بتصميم مبسط على الزلازل ولبعض المنشآت فقط. ولا يطلب عادةً تحقيق متطلبات الكودات الزلزالية المتخصصة.

1 – 2 – 3 التحليل الديناميكي للجمل المرنة ذات درجات الحرية المتعدد (MDOF)

Dynamic Analysis Of Mutlidegree Of Freedom Elastic Systems

يحدد عدد درجات الحرية لجملة مؤلفة من عدة كتل مجمَّعة، من العدد الأدنى للانتقالات والدورانات التي قد تحدث في هذه الكتل، وذلك من خلال تحديد موقعها الهندسي في لحظة معينة.

يكون الدور المسيطر للزلزال ذات العمق القليل (حتى 60 km) والتي تعتبر الأكثر حدوثاً من مرتبة (0.2 0.4 sec). ولهذا فإن الجمل ذات درجة الحرية الوحيدة وذات الدور الطبيعي الواقع ضمن هذه الحدود تكتسب كتلتها المهتزة تسارعات أكبر. مع الإشارة إلى أن الدور الطبيعي المذكور يعتمد غالباً على الدور الأساسي للأبنية المؤلفة من طابقين إلى أربعة طوابق.

ويصبح الدور المسيطر في الزلازل ذات الأعماق الأكبر (70 300 km) أو المسافة الأبعد عن المركز السطحي بين (1.0 2.0 sec) وتعتبر هذه الزلازل قليلة الحدوث قياساً بالأولى.

تعتبر المباني المرنة أو عالية الارتفاع وذات الدور الأساسي الكبير عرضة لخطر الزلازل عندما تستند أساساتها إلى تربة طرية. لأن هذه التربة تؤدي إلى إزاحة مخطط طيف التسارع نحو اليمين.

تكون الكتل في الإطارات المستوية مركزة في الكمرات التي يفترض أنها ذات قساوات محورية كبيرة . ويعتبر هذان الافتراضان قريبان جداً من الواقع في منشآت الخرسانة المسلحة. كما يكون عدد درجات الحرية مساوياً لعدد الطوابق مع اعتبار أن المجاهيل هي الانتقالات الأفقية لهذه الطوابق.

تمثل الاهتزازات الدورية الحرة غير المتخامدة، الأنماطَ العادية أو الطبيعية (normal modes) للجملة الخطية، ويعطي التراكب الخطي لهذه الاهتزازات في كل لحظة، مواقع الجملة المدروسة.

تنوس جميع كتل المبنى من أجل كل نمط للاهتزاز بشكل متوافق مع الطور.. أي أن نسبة انتقالات الكتل المستقلة في المبنى تبقى في كل لحظة ثابتة. وبالنتيجة تمر جميع الكتل في وضع السكون وتصل إلى المطال الأعظمي في نفس اللحظة. **ويستنتج من ذلك أن عدد الأنماط الطبيعية لمنشأ ما يساوي عدد درجات الحرية فيه. ويتعلق كل نمط طبيعي بتردد طبيعي (أي بدور اهتزاز يعرف باسم الدور الطبيعي).**

ويكون النمط الطبيعي في الجمل المستوية هو النمط ذا الدور الطبيعي الأطول. أي النمط الأول أو النمط الأساسي (fundamental normal mode) في حين يكون النمط الطبيعي في الجمل الفراغية مؤلفا من ثلاثة أدوار تتوافق مع ثلاثة أنماط للاهتزاز.. دوران انسحابيان ودور دوراني.

يبين الشكل (3) الأنماط الطبيعية النموذجية لمبنى مؤلف من ثلاثة طوابق حيث تكون قيمة الأشعة الذاتية (eingenvectors) الثلاثة هي:

$$\phi_1 = \begin{pmatrix} \delta_{3,1} \\ \delta_{2,1} \\ \delta_{1,1} \end{pmatrix} \qquad \phi_2 = \begin{pmatrix} \delta_{3,2} \\ \delta_{2,2} \\ \delta_{1,2} \end{pmatrix} \qquad \phi_3 = \begin{pmatrix} \delta_{3,3} \\ \delta_{2,3} \\ \delta_{1,3} \end{pmatrix}$$

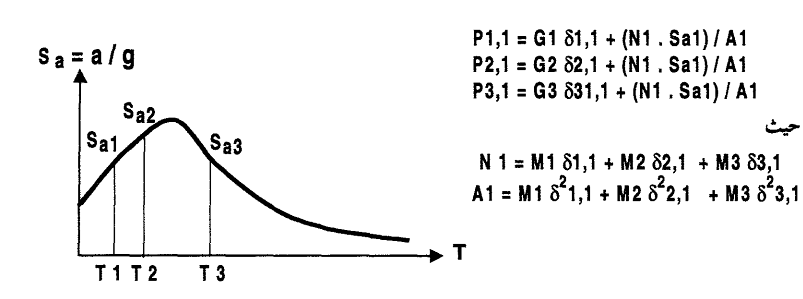
M3 M2 M1 H H H

δ 3,1 δ 2,1 δ 1,1 — T 1 — النمط 1

δ 3,2 δ 2,2 δ 1,2 — T 2 — النمط 2

δ 3,3 δ 2,3 δ 1,3 — T 3 — النمط 3

P 3,1 P 2,1 P 1,1



$$P1,1 = G1\ \delta1,1 + (N1 . Sa1) / A1$$
$$P2,1 = G2\ \delta2,1 + (N1 . Sa1) / A1$$
$$P3,1 = G3\ \delta31,1 + (N1 . Sa1) / A1$$

حيث

$$N\ 1 = M1\ \delta1,1 + M2\ \delta2,1 + M3\ \delta3,1$$
$$A1 = M1\ \delta^2 1,1 + M2\ \delta^2 2,1 + M3\ \delta^2 3,1$$

الشكل 3
كيفية تحليل إطار مستوي من ثلاثة طوابق
بطريقة التحليل الطيفي النمطي.

وقد اعتبر الانتقال النسبي الأعظمي في كل حالة مساويا لواحدة القياس.

ومن المهم هنا ملاحظة أن نسبة الانتقالات في أية لحظة هي نسبة ثابتة في كل نمط طبيعي.

لقد ارتبط التحليل الديناميكي للحمل ذات درجات الحرية المتعددة (MDOF) بمنحنيين تحليليين. يسمى الأول بمنحني التحليل النمطي (Spectral Modal Analysis)، ويسمى الثاني

بمنحني التحليل الزمني (Time- history Analysis). وقد شرح هذان المنحنيان في الفصل الثاني بالتفصيل.

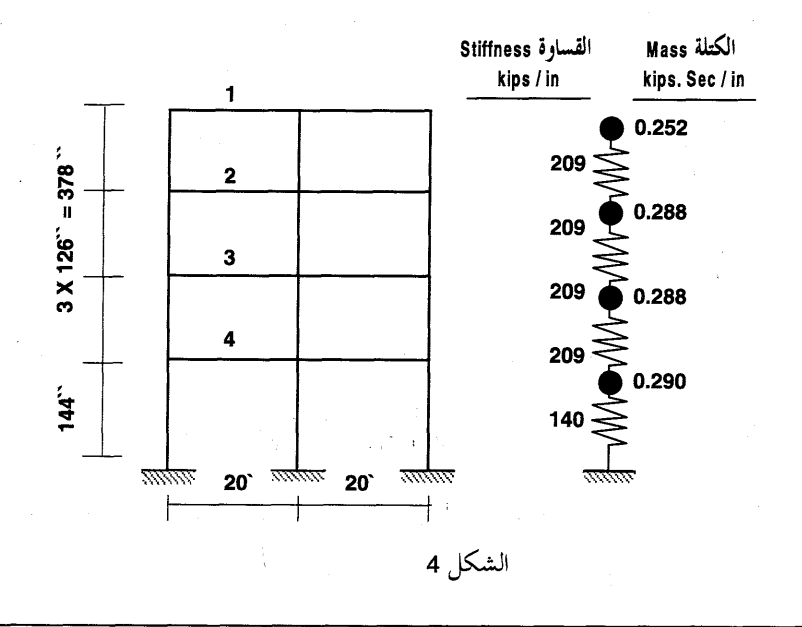
مستقلا بدوره الطبيعي المميز. وبالتالي تنتج الاستجابة العظمى عن تجميع لاستجابات الأنماط المستقلة والتي لا تحدث في وقت واحد.

هناك عدة طرق لتجميع مساهمات الأنماط المختلفة. من أكثرها شيوعا حساب الجذر التربيعي لمجموع مربعات المطالات أو الانتقالات العظمى للأنماط المستقلة، باعتبارها قيما عشوائية. وقد تناولت الفقرة (2 ـ 4 ـ 2 ـ 3) في الفصل الثاني هذه التراكيب.

1 ـ 2 ـ 3 ـ 1 مثال توضيحي بالطرق اليدوية *:

يطلب تحديد مصفوفتي الكتل والقساوة وتواترات أنماط الاهتزاز الحر للإطار الخرساني الفراغي المبين في الشكل (4) والمؤلف من أربعة طوابق، وذلك وفق الافتراضات التالية:

ـ تمثل الانتقالات الأفقية في مستوي الطوابق الأربعة درجات الحرية للمنشأ.



الشكل 4

* الدورة التأهيلية في تحليل وتصميم المنشآت على الزلازل (د. م محمد سمارة) – نقابة المهندسين فرع دمشق – 2000

ـ كتل الطوابق مجمعة في مناسيب البلاطات.

ـ مقاطع الأعمدة (14 x 14 in) وهي مرنة في المستوي الأفقي وعالية الصلابة في المستوي الشاقولي.

ـ الكمرات عالية الصلابة في المستوي الأفقي مقارنةً بالأعمدة.

ـ البلاطات صلبة في المستوي الأفقي.

ـ معامل مرونة الخرسانة (3.6×10^6 psi).

ـ الحل:

يمكن نمذجة المنشأ بناءاً على الفرضيات المعطاة باستخدام ثلاث درجات حرية ديناميكية في كل طابق (انتقالان أفقيان متعامدان ودوران حول المحور الشاقولي المار بمركز الكتلة).

في حال كان الإطار مستوياً، تنخفض درجات الحرية إلى انتقال أفقي واحد في كل طابق. وذلك لأن النمط الطبيعي في الجمل المستوية هو النمط الأساسي ذا الدور الطبيعي الأطول. أما النمط الطبيعي في الجمل الفراغية كما في مسألتنا فهو مؤلف من دورين انسحابيين ودور دوراني.

1 ـ حساب قساوات الطوابق:

نحسب القساوة الانتقالية للعمود الواحد كما يلي، بافتراض أن الكمرات صلبة (كما ذكر في الفقرة 1 ـ 2 ـ 3):

$$K_i = \frac{12 E I_C}{L^3}$$

إذن تكون القساوة الانتقالية للعمود الواحد في الطابق الأرضي:

$$K_{4i} = \frac{12\ E I_{C4}}{L_4^3} = \frac{12\,(3.6 \times 10^6)\,(14^4/12)}{144^3} \approx 46100 \quad in^4$$

وتكون القساوة الانتقالية للعمود الواحد في الطابق المتكرر:

$$K_{1,2,3\,i} = \frac{12\ E I_{C1,2,3}}{L_{1,2,3}^3} = \frac{12\,(3.6 \times 10^6)\,(14^4/12)}{126^3} = 68600 \quad in^4$$

ـ قساوة الطابق الأرضي:

$$K_4 = 3K_{4i} = 3 \times 46100 \times 10^{-3} \approx 140 \text{ kips/in}$$

ـ قساوة الطابق المتكرر:

$$K_{1,2,3} = 3K_{1,2,3i} = 3 \times 68600 \times 10^{-3} \approx 209 \text{ kips/in}$$

2 ـ تشكيل مصفوفة الكتل وحساب قوى العطالة (انظر الفقرة 2 ـ 6 ـ 1 من الفصل الثاني):

تتم نمذجة كتل المنشأ سواء أكانت انسحابية أو دورانية بتجميعها في مركز كتل الطوابق المختلفة، حيث تنتج مصفوفة قطرية. وبالتالي تكون قوى العطالة:

$$\{F_i\} = [M]\{\ddot{u}\} = \begin{bmatrix} 1.01 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.15 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.15 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1.16 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{u}_1 \\ \ddot{u}_2 \\ \ddot{u}_3 \\ \ddot{u}_4 \end{Bmatrix}$$

3 ـ تشكيل مصفوفة القساوات وحساب قوى الإرجاع المرنة... (انظر الشكل 5):

$$\{F_S\} = [K]\{u\} = \begin{bmatrix} 209 & -209 & 0 & 0 \\ -209 & 418 & -209 & 0 \\ 0 & -209 & 418 & -209 \\ 0 & 0 & -209 & 349 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \end{Bmatrix}$$

4 ـ إيجاد معادلة الحركة:

تعطى معادلة الاهتزاز الحر للجمل ذات درجات الحرية المتعددة بدون تخامد بالشكل المصفوفي التالي (الكتلة × التسارع + القساوة × الانتقال = 0 ... انظر الملحق B).

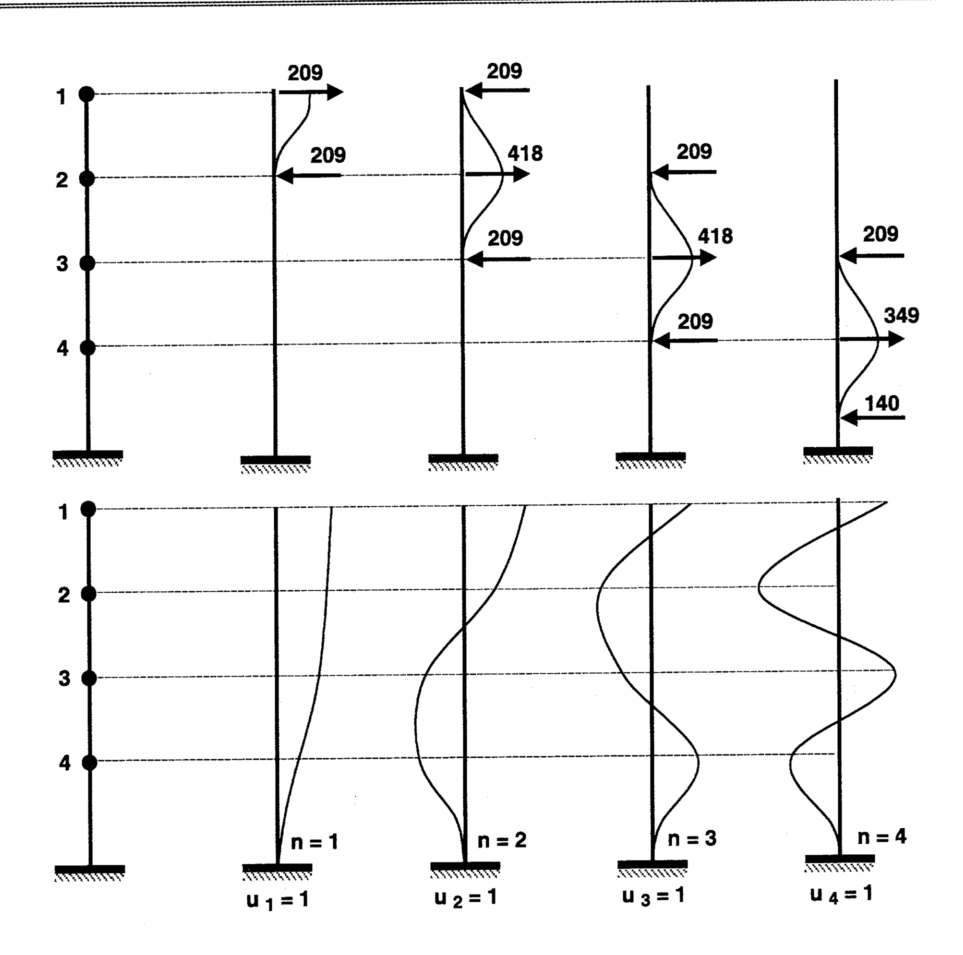
$$(1) \quad [M]\{\ddot{u}\} + [K]\{u\} = \{0\}$$

وباعتبار أن الحركة توافقية يكتب شعاع الانتقالات كما يلي:

$$(2) \quad \{u\} = \{u_0\} \sin \omega t$$

وينتج التسارع عن اشتقاق شعاع الانتقالات مرتين بالنسبة للزمن كما يلي:

$$(3) \quad \{\ddot{u}\} = -\omega^2 \{u\}$$



الشكل 5 ـ أنماط الاهتزاز وتحديد القساوات.

نعوض العلاقتين (2 و 3) بالعلاقة (1) فنحصل على علاقة القيم الذاتية (Eigenvalue) التالية:

$$\{[K] - \omega^2 [M]\}.\{u\} = 0 \quad (4)$$

تنشر هذه المعادلة المصفوفية إلى كثير حدود من الدرجة (n)، حيث تمثل جذوره تواترات الاهتزاز الموافقة لـ (n) نمط من اهتزاز الجملة. مع التذكير بأن الدور الأساسي هو الدور ذو التواتر أو التردد الأصغر.

وبتبديل التواترات الناتجة بشكل متتالي في معادلة القيم الذاتية (4)، وحل هذه المعادلة

الناتجة بغية حساب الانتقالات النسبية لكل مركبة من مركبات الانتقال بدلالة واحدة منها، نكون قد حددنا **الأشعة الذاتية (Eigevector) والتي تدعى أيضا بأنماط الاهتزاز.**

إذن بالعودة للقيم الرقمية للمسألة نوجد علاقة القيم الذاتية كما يلي:

لنعتبر أن الوسيط ($B = \omega^2 / 800$)، فتكون مصفوفة أنماط الاهتزاز:

$$[K]-\omega^2[M]=200\begin{bmatrix} 1.05-1.01B & -1.05 & 0 & 0 \\ -1.05 & 2.09-1.15B & -1.05 & 0 \\ 0 & -1.05 & 2.09-1.15B & -1.05 \\ 0 & 0 & -1.05 & 1.74-1.16B \end{bmatrix} \qquad (5)$$

وتكون هذه المعادلة المميزة مساوية للصفر.. وبنشرها نحصل على كثير الحدود التالي:

$$B^4 \quad 6.183\, B^3 + 11.476\, B^2 + 0.643\, B + 0.486 = 0$$

وبحل هذه المعادلة الجبرية نحصل على قيم (ω) وقيم الأدوار ($T = 2\pi / \omega$) كما يلي:

$$B_1 = 0.089 \Rightarrow \omega_1 = 8.438 \text{ rad/sec} \Rightarrow T_1 = 0.744 \text{ sec}$$

$$B_2 = 0.830 \Rightarrow \omega_2 = 25.77 \text{ rad/sec} \Rightarrow T_2 = 0.244 \text{ sec}$$

$$B_3 = 2.039 \Rightarrow \omega_3 = 40.39 \text{ rad/sec} \Rightarrow T_3 = 0.155 \text{ sec}$$

$$B_4 = 3.226 \Rightarrow \omega_4 = 50.80 \text{ rad/sec} \Rightarrow T_4 = 0.124 \text{ sec}$$

ونحصل على مصفوفة أنماط الاهتزاز باستبدال قيم (B) بالعلاقة رقم (5) كما يلي:

$$\Phi = \begin{bmatrix} 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 \\ 0.91 & 0.20 & -1.07 & -1.78 \\ 0.74 & -0.78 & -0.75 & 1.75 \\ 0.47 & -1.05 & 1.24 & -0.92 \end{bmatrix} \qquad (6)$$

1 ـ 2 ـ 3 ـ 2 التخامد اللزج Viscous Damping

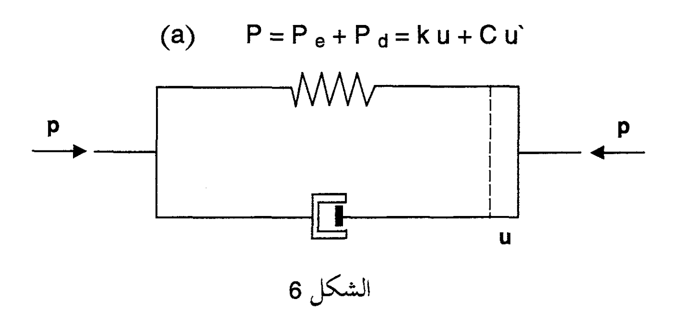
تقدم الفقرتان التاليتان أساسا نظريا لفهم فقرة عناصر الربط الخطي المشروحة في الفقرة (2 ـ 5) وتوابعها من الفصل الثاني.

تبلغ التسارعات الأعظمية للكتل المهتزة في المنشآت القريبة من حالة الطنين مع الزلازل بين

ضعفي إلى ستة أضعاف التسارع الأعظمي الأساسي.

يبين الشكل (6) نابضا ومخمدا زيتيا موصولان على التوازي. وتتألف القوة الكلية (P) التي تسبب انتقالا في الجملة قدره (u) من مجموع القوتين التاليتين:

$$P = P_e + P_d = k u + C u` \quad (a)$$



الشكل 6

ـ القوة في النابض: $P_e = K u$ (b)

ـ في المخمد: $P_d = C u`$ (c)

وتعتبر القوة الأولى عن خصائص المرونة في حين تعبر الثانية عن خصائص اللزوجة.

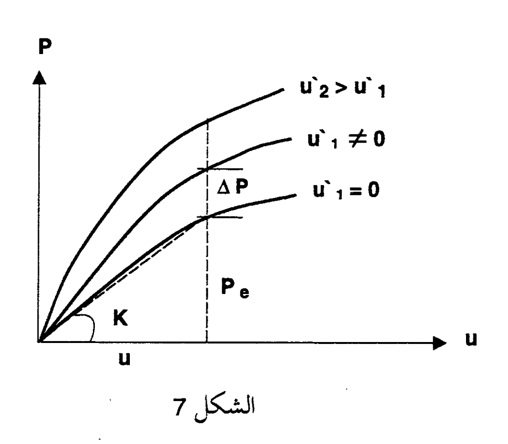
حيث (C) معامل التخامد و (K ثابت مرونة النابض) و (`u) سرعة تطبيق الحمولة.

أما في المنشآت الفعلية فإن النوابض والمخمدات يتمثلان في العناصر المرنة التي تربط الكتل مع بعضها البعض ومع الأرض. لذلك فمن المهم تقيم دقة العلاقة الأخيرة للتعبير عن ظاهرة التخامد في المنشآت.

من المعروف أن استجابة المادة مع القوى الخارجية المطبقة عليها يعتمد على معدل سرعة تطبيق الحمولة. فكلما ازداد معدل التحميل ازدادت القوة المطلوبة لإحداث نفس التشوه وذلك كما في الشكل (7).

يبين الشكل المذكور أن الجزء اللزج من التحميل هو تابع معقد لسرعة التشوه. إلا أنه عند نشر هذا التابع بشكل سلسلة كثيرة الحدود لـ (u) وأخذ الحد الأول منها فإن (P_d) تأخذ الصيغة التالية:

$$P_d = C u` \quad (d)$$



الشكل 7

وهكذا تصبح العلاقة (C) كما يلي:

$$P = P_e + P_d = P_e + \Delta P \qquad (e)$$

1 ـ 2 ـ 3 ـ 3 التخامد التراجعي Hysteretic damping

يعتبر التخامد التراجعي خاصة من خصائص المادة التي تتعلق بتبديد الطاقة الحركية عن طريق تحويلها إلى طاقة حرارية. فبالإضافة إلى السلوك المرن اللزج للمواد، هناك عوامل أخرى تؤدي إلى التخامد. ومن أهم هذه العوامل السلوك التراجعي لها.. وخاصةً من أجل القيم الكبيرة للتشوه كتلك الناتجة عن الزلازل.

يأخذ مخطط الإجهاد ـ التشوه للمادة تحت تأثير الحمولات المتكررة الصورة الموضحة في الشكل (8)، حيث تعتمد تغيرات هذا الشكل على خواص المادة المدروسة.

تمثل المنطقة المظللة في الشكل المذكور الطاقة التي يتم تبديدها في كل حلقة بشكل حراري بسبب السلوك اللدن للمادة.

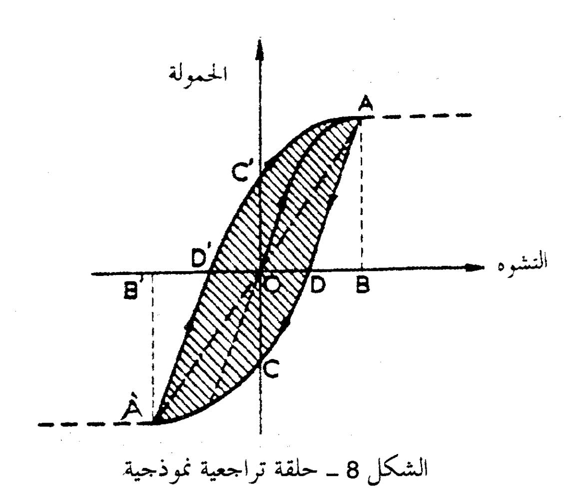
ومن الواضح أنه كلما زادت مساحة الحلقة التكرارية (أي كلما ازداد مستوى التشوه في المادة) تزداد الطاقة المتبددة ويزداد التخامد.

إذا تعرضت الجملة التي تعطي الشكل (8) إلى نوسان من النموذج:

$$u = u_0 \sin \omega t \qquad (f)$$

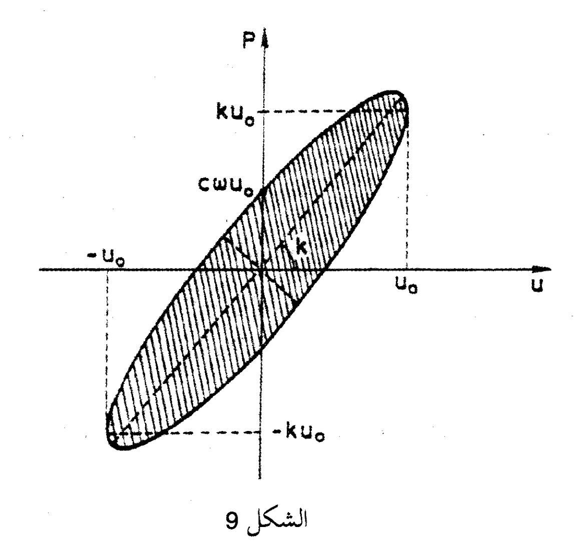
لأمكننا كتابة العلاقة التالية:

$$P = k\,u_0 \sin \omega t + C\,\omega\,u_0 \cos \omega t \qquad (g)$$



الشكل 8 ـ حلقة تراجعية نموذجية

وتعرف العلاقتان الأخيرتان تابعا يربط بين (u - P) ويأخذ الشكل (9) الذي يمثل قطعاً ناقصاً. وهذا دليل على إمكانية تمثيل الحلقة التراجعية بواسطة القطع المذكور.



الشكل 9

وهكذا يمكن تقريب المنحنيات اللاخطية للمواد والمنشآت بشكل مقبول إلى المعادلة التفاضلية التالية:

$$(h) \qquad M u'' + C u' + k u = - M x''(t)$$

وتعتبر هذه المعادلة خطية، بينما تكون في الحالة العامة الدقيقة من الشكل:

$$(i) \qquad M u'' + v(u', u) = - M x''(t)$$

حيث $v(u', u)$ هو تابع للقوة المرجعة يتضمن التخامدين اللزج والتراجعي.

وفي الحالة التي تستخدم فيها المعادلة (h) للتعبير عن التخامد التراجعي للسلوك اللامرن فإن نسبة التخامد التراجعي المكافئة تساوي حاصل قسمة التخامد الموجود، على التخامد الحرج ... أي:

$$(j) \qquad \zeta_e = C / C_{cr}$$

والتي تنتج بحساب الطاقة كما يلي:

إن الطاقة المبددة في حالة الحلقة التراجعية في الشكل (8) لحلقة تحميل كاملة هي:

$$(k) \qquad \Delta W = \int_{T}^{T+\frac{2\pi}{\omega}} P(t) \frac{du}{dt} dt = \pi C \omega u_0^2$$

ومن جهة أخرى فإن الطاقة الكامنة العظمى (U) للجملة تساوي:

$$U_e = \frac{1}{2} k u_0^2$$

وبذلك يكون:

$$(l) \qquad \frac{\Delta W}{U_e} = \frac{2\pi C \omega}{k}$$

ولكن:

$$(m) \qquad C = \zeta_e \cdot C_{cr} = 2 M \omega \cdot \zeta_e$$

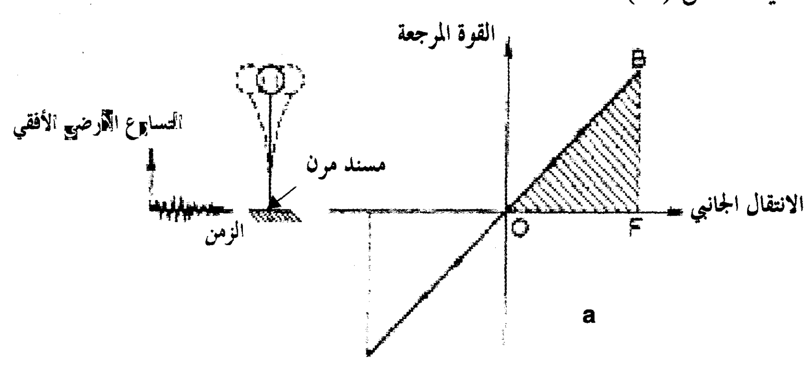
بتعويض المعادلة (m) في المعادلة (l) تصبح فإن نسبة التخامد التراجعي المكافئة (ζ_e) كما يلي:

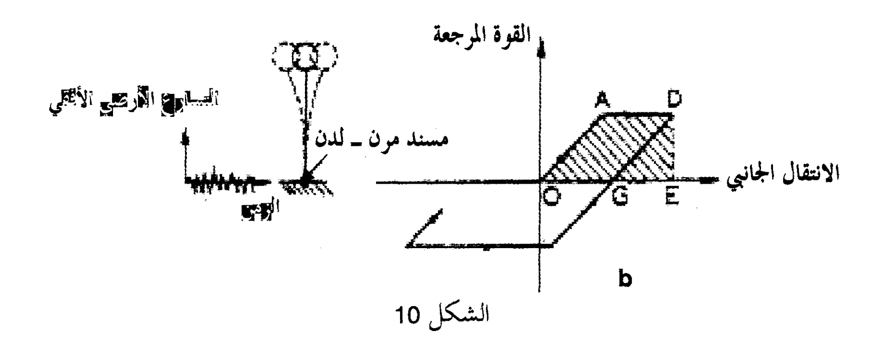
$$\zeta_e = \frac{1}{4\pi}\frac{\Delta W}{U_e} \qquad (n)$$

لقد سمح البرنامج (SAP 2000) بتحليل الجمل اللامرنة بواسطة الطرائق العددية.. مع الإشارة إلى أن المعادلة الأخيرة ما تزال الأساس لفهم الظاهرة الزلزالية بشكل نوعي. وهي مؤشر للطاقة المبددة خلال كل دورة من دورات التحميل.

يمكن توضيح تأثير السلوك اللامرن على تجاوب المنشآت مع الحركات الزلزالية القوية من خلال دراسة الجملة وحيدة درجة الحرية (SDOF).

لنفترض وجود جملتين (SDOF) كتلة كل منها (M) ولهما نفس ثابت النابض (K) وبدون تخامد كما في الشكل (10).



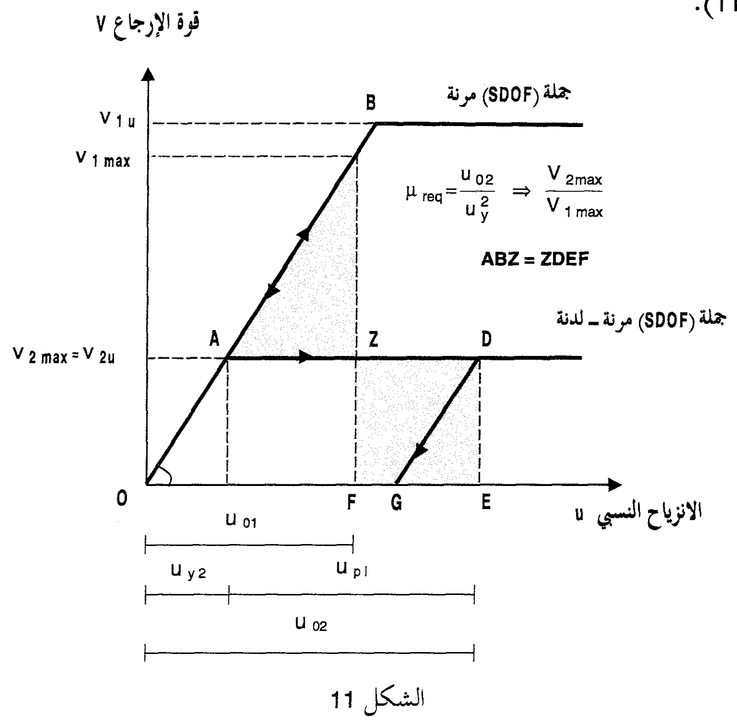


الشكل 10

ولنفترض أن كل من الجملتين اهتز بشكل حر. فعند مرورهما من نقطة التوازن الأساسي يكون لكل منهما نفس السرعة ($u_{max} = v_{max}$).

وقد اعتبرنا أن مسند الجملة الأولى مرناً وقدرته الحدية (ultimate strength) هي (V_{1u}).

ومسند الجملة الثانية مرناً ـ لدناً وقدرته الحدية (V_{2u}) أصغر بكثير من (V_{1u}).. لحصلنا على (الشكل 11).



الشكل 11

لنعرِّض الجملة (a) لانزياح كتلتها بمقدار (u_{01}) بحيث تكون طاقتها الكامنة المخزنة بشكل طاقة تشوه مساوية لمساحة المثلث (OBF) وهي أيضاً مساوية للطاقة الحركية للجملة:

$$\frac{1}{2} M v_{max}^2 = \frac{1}{2} k u_{01}^2 \qquad (o)$$

وبذلك يكون:

$$u_{01} = \sqrt{\frac{M}{k}}\, v_{max} \qquad (p)$$

تتولد في المسند المرن في هذه الحالة قوة إرجاع عظمى ($v_{1max} < v_{1u}$) تتوافق مع قوة عطالة عظمى ($M x``_{max}$) تصبح عندها السرعة معدومة. ثم تقوم هذه القوة بتسريع الجملة بالاتجاه المعاكس، لتسبب بذلك الاهتزاز ذي المطال الثابت.

أما الجملة الثانية التي تولد قوة إرجاع غير مساوية للأولى حيث يتشكل مفصلا لدنا عند القاعدة. وتكون القوة المتولدة عندئذ هي (v_{02}) والانتقال الأعظمي هو (u_{02}).

كما تكون مساحة شبه المنحرف (OADE) مساوية للطاقة الحركية للجملة. وبذلك يكون:

$$\frac{1}{2} M v_{max}^2 = \frac{1}{2} v_{2u} u_{y2} + v_{2u} u_{pi} \qquad (q)$$

وبهذا نجد:

$$u_{Pi} = \frac{1}{2 v_{2u}} (M v_{max}^2 - v_{2u} u_{y2}) \qquad (r)$$

ويكون الانتقال الكلي للجملة كما يلي:

$$u_{02} = u_{y2} + u_{pi} \qquad (s)$$

وتكون الجملة من أجل هذا الانتقال قد استهلكت كامل طاقتها الحركية. ولذلك فهي تبدأ التحرك نحو موقعها الأصلي تحت تأثير (v_{2u}).

وفي اللحظة التي تصبح فيها قيمة (v_2) مساوية للصفر فإن المثلث (EDG) يمثل الطاقة الكامنة التي تحولت إلى طاقة حركية. وذلك لأن الطاقة الممثلة بمتوازي الأضلاع (OADG) قد جرى تبديدها في المفصل اللدن على هيئة حرارة، أو بأشكال أخرى من الطاقة غير القابلة للاسترجاع.

يتضح مما سبق أن هناك تحول متعاقب ومتكرر بين الطاقتين الحركية والكامنة في الجملة الأولى المرنة. الأمر الذي يؤدي إلى تأثير تراكمي لدورات الاهتزاز (أو التحريض) المتلاحقة، على كافة الانتقالات الجانبية النسبية.

أما في الجملة المرنة ـ اللدنة الثانية، فيتحول جزء من الطاقة فقط بين دورة وأخرى، من طاقة كامنة إلى حركية مما يؤدي إلى تخامد سريع للاهتزاز. وهذا يعني أن الانتقال (u_{02}) كما عرف

أعلاه هو الحد الأقصى للجملة المرنة اللدنة.

لقد بينت الدراسات التحليلية المفصلة أن الانتقالات العظمى للجملتين السابقتين والمتولدة عن الاهتزاز بوجود تخامد كبير، متساوية تقريبا.

نستنتج مما سبق أنه يمكن مقاومة أثر الاهتزاز الناتج عن التحريض الزلزالي للجملة المهتزة من خلال قوة مرجعة كبيرة مع اهتزاز ضمن المجال المرن ، أو من خلال قوة مرجعة أصغر مع الاستفادة من قابلية الجملة للتشوهات اللدنة إذا كانت قابلة لذلك.. (انظر الملحق A).

1 ـ 3 تعريف المطاوعة في العناصر الإنشائية

ذكرنا في الفقرة (A ـ 4 ـ 4) من الملحق (A) في الجزء الثاني أن تصميم عناصر الإطارات المطاوعة على مقاومة القص يعتمد على قدرة تحمل هذه العناصر للقص. ومن أجل ذلك نشير إلى مفهوم المطاوعة (ductility) في العناصر الإنشائية كما يلي:

يطلق مصطلح المطاوعة على قابلية الجملة الإنشائية للتعرض إلى التشوهات اللدنة (موضوع الملحق A) في هذا الكتاب دون انخفاض كبير في مقاومتها.. أو بعبارة أبسط هي القدرة على تبديد الطاقة.

وتعتبر هذه الخاصة على درجة كبيرة من الأهمية في المنشآت المقاومة للزلازل، لأنها تعطي المصمم خياراً لتصميم المنشأ على قوى أقل بكثير من تلك التي قد تتطلبها الجملة المرنة.

يعرف معامل المطاوعة (ductility factor) بأنه نسبة التشوه الحدي عند الانهيار، إلى التشوه المرن. وبدوره يعرف التشوه الحدي (the ultimate deformation) عند الانهيار بأنه التشوه الذي تخسر معه المادة أو المنشأ جزءاً من مقاومته القصوى محدد مسبقاً (15% للخرسانة مثلاً).

وفي حال ثبات مقاومة العنصر الإنشائي مع ازدياد قيمة معامل المطاوعة، ترتفع عوامل الأمان لهذا العنصر ضد الزلازل.

1 ـ 4 اعتبارات خاصة بالتصميم الزلزالي

يجب أن تحقق الكمرات في الإطارات الخاصة المطاوعة والمقاومة متطلبات الفقرة (A ـ 6) من الملحق (A) في الجزء الثاني، مع الأخذ بالاعتبار ما يلي:

1 ـ يجب أن تسلح الكمرات من الجهتين العلوية والسفلية بمساحة دنيا لا تقل في أي من هذين الجهتين عن القيمة التالية:

$$A_{S\,min} \geq \frac{1.4\, b_w\, d}{f_y} \qquad (7)$$

2 ـ يجب ألا تزيد مساحة تسليح الانعطاف عن:

$$A_S \leq 0.025\, b_w\, d \qquad (8)$$

3 ـ يجب ألا تقل قدرة تحمل الكمرة للانعطاف الموجب عند المساند عن نصف قدرتها لتحمل لانعطاف السالب.. وتسلح هذه المقاطع على هذا الأساس.

4 ـ يجب ألا تقل قدرة تحمل الكمرة للانعطاف الموجب أو السالب في أي نقطة من المجاز عن ربع قدرتها لتحمل الانعطاف الموجب أو السالب عند المساند.

ينبغي أن تحقق الكمرات في الإطارات المطاوعة ومتوسطة المقاومة للزلازل المتطلبات التالية:

1 ـ يجب ألا تقل قدرة تحمل الكمرة للانعطاف الموجب عن المساند ثلث قدرتها لتحمل لانعطاف السالب.

2 ـ يجب ألا تقل قدرة تحمل الكمرة للانعطاف الموجب أو السالب في أي نقطة من المجاز عن خمس قدرتها لتحمل للانعطاف الموجب أو السالب على التوالي عند المساند.

1 ـ 5 ملاحظات هامة من كود البناء الموحد(UBC)*

ـ القاعدة أو الأساس Base

هو المنسوب الذي يتم فيه انزياح أو انتقال العناصر الإنشائية بسبب التأثيرات الديناميكية المتولدة عن الزلازل، وبالاستناد إلى منسوب مرجعي.

ـ القص القاعدي Base shear V

قوة القص الجانبية الكلية المتولدة عن تأثير الزلازل، والتي تعتبر مطبقة عند منسوب أساسات المنشأ.

* للمزيد من التفصيلات انظر الترجمة العربية لكود البناء الموحد UBC 94 ـ إصدار دار دمشق 2000

ـ جدار القص Shear wall

جدار مصمم لمقاومة القوى الجانبية المطبقة في مستويه.

ـ الرابط Diaphragm

الجملة الإنشائية المصممة لنقل القوى الجانبية إلى عناصر الجملة التي تقاوم الحمولات الشاقولية.

(انظر الفقرة 2 ـ 4 على الصفحة 113 من الجزء الثاني).

ـ عصب الرابط Diaphragm chord

عنصر محيطي من الجملة الإنشائية المصممة لنقل القوى الجانبية. أو جدار القص الذي يُفترض أن يتلقى الإجهادات المحورية المناظرة لأجنحة الكمرات.

ـ عارضة الرابط Diaphragm strut

كمرة ساقطة (رابطة أو مجمعة) من جملة الرابط (Diaphragm) موازية للقوة الجانبية، تعمل على تجميع ونقل القوى المحورية الشادة أو الضاغطة، والتي تشكل قوى قاصة في مجموعة العناصر الشاقولية.

ـ العنصر المرن Flexible element

عنصر من الجملة الإنشائية المقاوِمة للقوى الجانبية يستطيع أن يتشوه بتأثير الحمولة الجانبية أكثر من تشوه أي عنصر مجاورة له.

ـ العنصر المحيطي Boundary element

عنصر إنشائي رابط ينفذ عند أطراف الفتحات. أو العنصر المحيط بجدران القص.

ـ المجمِّع Collector

عنصر إنشائي قادر على نقل القوى الجانبية إلى عناصر شاقولية تنتمي إلى الجملة الإنشائية التي تقاوم القوى المذكورة.

ـ جملة الجدران الحاملة Bearing wall system

نظام إنشائي متكامل من الجدران المصمتة أو الحاوية على فتحات يستطيع أن يتلقى حمولات شاقولية وأفقية.

ـ الجملة المختلطة **Dual system**

جملة إنشائية مختلطة من جدران القص والإطارات الحاملة مقواة ومصممة بالتوافق مع متطلبات الكود (UBC).. مع الإشارة إلى أن الإطارات في هذه الجملة تعمل على تحمل القوى الشاقولية فقط.

ـ الجملة المقاومة للقوى الجانبية **Lateral- force- resisting system**

إطار إنشائي مرن تكون كافة العقد قادرة على مقاومة القوى المطبقة.

ـ جملة التقوية الأفقية **Horizontal bracing system**

نظام شبكي (Truss) أفقي (ينفذ غالبا من تفصيلات التسليح في المنشآت الخرسانية) يعمل كجملة إنشائية متكاملة لدعم الجملة الرئيسية.

ـ تأثير P Δ **p Δ Effect**

التأثير الثانوي للحمولات الشاقولية على جهود القص والقوى المحورية وعزوم الانعطاف في العناصر الإطارية.. (انظر الفقرة 1 ـ 2 ـ 4 على الصفحة 11 من الجزء الثاني).

ـ الطابق النحيل **Soft story**

الطابق الذي تكون صلابته الجانبية أقل من (70%) من صلابة الطابق الذي يعلوه.

ـ الطابق الضعيف **Weak story**

الطابق الذي تكون مقاومته أقل من (% 80) من الطابق الذي يعلوه مباشرة.

ـ الانزياح الطابقي **Story drift**

الانتقال المقاس بالنسبة إلى منسوب أعلى أو أدنى الطابق المدروس.

ـ نسبة الانزياح الطابقي **Story drift ratio**

حاصل قسمة انزياح الطابق على ارتفاعه.

ـ القص الطابقي **Story shear**

حاصلة القوى الجانبية المؤثرة فوق منسوب الطابق المدروس.

ـ المقاومة Strength

قدرة العنصر الإنشائي على مقاومة الحمولات المطبقة عليه.

ـ التأثيرات المتعامدة Orthogonal effects

التأثيرات المتبادلة بين العناصر الإنشائية للجمل المقاومة للزلازل على طول المحورين المتعامدين اللذان تؤثر في اتجاههما القوى الزلزالية.

1 ـ 5 ـ 1 تصنيف الإطارات الإنشائية

ـ الإطار الحامل للقوى العمودية Vertical- load- carrying frame

إطار مصمم على حمولات الثقالة الشاقولية.

ـ الإطار العادي المقاوم للعزوم Ordinary moment- resisting frame (OMRF)

إطار مقاوم لعزوم الانعطاف ذو سلوك مرن.

ـ الإطار المقوى العادي Ordinary braced frame (OBF)

إطار فولاذي مقوى أو إطار مقوى خرساني مصمم بالتوافق مع المتطلبات التالية:

1 ـ لا تتجاوز حمولة الضغط المحوري المطبقة على عناصر الإطار ($A_g f`_c / 10$).

2 ـ لا يقل المجاز الصافي للعناصر عن (4) أمثال عمقها الفعال.

3 ـ لا تقل نسبة عرض المقطع إلى عمقه عن (3 / 1).

4 ـ لا يقل عرض المقطع عن (10 in).

5 ـ لا يقل التسليح السفلي والعلوي في أي مقطع عن القيمة ($1.38\ b_w . d / f_y$)، وذلك بالواحدات الدولية.

6 ـ لا تزيد نسبة التسليح عن (0.025)، مع أربعة قضبان طولية على الأقل في زوايا المقطع.

7 ـ لا يقل تسليح العزم الموجب عند وجه المسند عن نصف التسليح الخاص بمقاومة العزم السالب.

8 ـ لا يقل تسليح العزم الموجب أو العزم السالب في أي مقطع عن ربع تسليح العزم الأعظمي.

9 ـ تمنع وصلات التراكب لقضبان التسليح في الأماكن التالية:

ـ ضمن العقد.

ـ على مسافة من وجه العقدة تقدر بضعف عمق المقطع.

ـ في المقاطع التي تتعرض لانعطاف مع فتل.

10 ـ لا تقل مقاومة الخرسانة ($f`_c$) عن القيمة ($3000\ psi \approx 200\ kg / cm^2$) باستثناء خرسانة الأساسات في المباني الأقل من ثلاثة طوابق ، والتي يجب ألا تقل مقاومتها عن القيمة ($2500\ psi \approx 180\ kg / cm^2$).

11 ـ يمكن استخدام الحصويات الخفيفة في الخرسانة إذا تبين أن مقاومتها على الشد لا تقل عن مقاومة الخرسانة العادية.

12 ـ هناك اشتراطات أخرى أكثر تفصيلاً في الكود .. (انظر الفصل 17 في الجزء الثاني من كود البناء الموحد ـ إصدار دار دمشق 2000).

ـ الإطار متوسط المقاومة للعزوم Intermediate moment- resisting frame (IMRF)

إطار خرساني مقاوم للزلازل المتوقعة في المنطقة الزلزالية رقم (2) بحسب تصنيف الكود (UBC)، ومصمم بالتوافق مع المتطلبات التالية:

أولاً ـ إذا كانت حمولة الضغط المحوري المطبقة على عناصر الإطار أقل من ($A_g f`_c / 10$) فيجب أن تستوفي تفصيلات التسليح الشروط التالية، حيث (A_g) المساحة الكلية للمقطع:

1 ـ لا يقل تسليح العزم الموجب عند وجه المسند عن ثلث تسليح العزم السالب.

2 ـ لا يقل تسليح العزم الموجب أو العزم السالب في أي مقطع على طول الكمرة عن خمس تسليح العزم الأعظمي.

3 ـ تنفذ الأساور بدءاً من وجهي المسند وعلى طول نحو الداخل لا يقل عن ضعف عمق الكمرة وتتوضع الأسوارة الأولى على مسافة من الوجه المذكور لا تقل عن (5 in).. ويستمر التباعد بعدها بما لا يزيد عن أصغر القيم الأربع التالية:

ـ (0.25 d) حيث (d) العمق الفعال للكمرة ـ (8 ϕ) حيث (ϕ) قطر القضيب الطولي المحاط بالأساور ـ (24 ds) حيث (ds) قطر قضيب الأسوارة ـ (12 in).

وتستمر الأساور على الطول المتبقي بتباعد أعظمي لا يزيد عن (d / 2).

ثانيا ـ إذا كانت حمولة الضغط المحوري المطبقة على عناصر الإطار أكبر من ($A_g f`_c / 10$) فيجب أن تستوفي تفصيلات التسليح الشروط التالية ما لم يكن العنصر مسلحا بشكل حلزوني.

1 ـ يجب ألا يتجاور تباعد أساور الأعمدة (s_0) على الطول (l_0) المقاس من وجه العقدة أصغر القيم التالية.

- (8 ϕ) حيث (ϕ) أصغر قطر لقضيب طولي محاط بالأساور
- (24 ds) حيث (ds) قطر قضيب الأسوارة
- نصف أصغر بعد للمقطع العرضي للعمود
- (12 in).

على ألا يقل الطول (l_0) عن أكبر القيم التالية:

- (L / 6) حيث (L) المجاز الصافي للعمود
- (a) حيث (a) طول المقطع العرضي للعمود
- (18 in).

وتتوضع الأسوارة الأولى على مسافة لا تزيد عن (s_0/2) من وجه العقدة.

2 ـ تسلح عقد الإطارات المذكورة بتسليح عرضي ضمن الأعمدة محدد بالعلاقة التالية:

$$A_V = \frac{50\ b_w\ s}{f_s} \qquad (9)$$

حيث

(b_w) عرض الأسوارة

(s) تباعد الأساور

(f_s) حد المرونة لفولاذ الأساور.

يستثنى من ذلك عقد الإطارات التي لا تعتبر من جملة مقاومة الزلازل والتي تكون مقيدة من أربع جهات بواسطة الكمرات أو بالبلاطات وذات العمق المتساوي تقريبا.

3 ـ يجب تأمين ربطات إضافية تحيط على الأقل بأربعة قضبان شاقولية في قمة العمود، وحسب تفصيلات الكود (UBC).

ـ الإطار الفراغي Space frame

نظام إطاري ثلاثي المحاور بدون جدران حاملة، مركب من أضلاع ذات اتصال داخلي تؤدي وظيفتها كوحدة متكاملة مع أو بدون مساعدة من جمل الربط الأفقية أو من جمل التقوية الأرضية.

ـ الإطار الخاص المقاوم للعزوم Special moment- resisting frame (SMRF)

إطار مقاوم للعزوم يحوي على تفصيلات خاصة بتأمين السلوك اللدن لعناصره.. ويصمم بالتوافق مع متطلبات الكود.

1 ـ 5 ـ 2 الجمل الإنشائية Structural systems

ـ جملة الجدران الحاملة Bearing wall system

نظام إنشائي من جدران القص التي تستطيع تلقي كافة الحمولات الشاقولية المطبقة على المنشأ. كما تؤمن مقاومة المنشأ ضد الحمولة الجانبية.

ـ الجملة الإطارية Frame system

نظام إنشائي من الإطارات المقواة يقوم بنفس المهام المذكورة في البند السابق.

ـ الجملة الإطارية المقاومة للعزوم Moment-resisting frame system

نظام إنشائي من إطارات أساسية كاملة يستطيع تلقي كافة الحمولات الشاقولية المطبقة على المنشأ إضافة إلى مقاومة الحمولة الجانبية وذلك من خلال خاصية المطاوعة في عناصره.

ـ الجملة المختلطة Dual system

نظام إنشائي يحتوي على ما يلي:

1 ـ إطار مجازي يتلقى كافة الحمولات الشاقولية المطبقة على المنشأ.

2 ـ جدران قص أو إطارات مقواة وإطارات مقاومة للعزوم تتلقى الحمولات الجانبية. ويجب أن تصمم إطارات مقاومة العزوم لتحمل ما لا يقل عن (25%) من قوة القص القاعدي التصميمية.

3 ـ تصمم الجملتان السابقتان لمقاومة القص القاعدي الكلي، بالتناسب مع قساوالهما مع الأخذ بالاعتبار التأثر والتأثير المتبادل فيما بين الجملتين عند كل منسوب مدروس.

1 ـ 5 ـ 3 متطلبات الشكل Configuration requirements

ـ المنشآت المنتظمة Regular structures

المنشآت التي لا تشكل فيها الانقطاعات الفيزيائية للجملة الإنشائية المعتمدة في الاتجاه الأفقي أو الشاقولي أية أهمية إنشائية في جملة مقاومة القوى الجانبية.

ـ المنشآت اللامنتظمة Irregular structures

هي المنشآت التي تشكل فيها الانقطاعات الفيزيائية لعناصر الجملة الإنشائية وفي أي اتجاه، أهمية إنشائية في تحمل القوى الجانبية.

1 ـ 5 ـ 4 اختيار إجراء القوة الجانبية Selection lateral- force procedure

1 ـ 5 ـ 4 ـ 1 التحليل الستاتيكي

يمكن اعتبار القوة الزلزالية المطبقة كقوة ستاتيكية (أو اتباع طرق التحليل الستاتيكي) في الحالات التالية:

1 ـ كافة أنواع المنشآت المنظمة أو غير المنتظمة في المنطقة الزلزالية (1). والمنشآت ذات تصنيف الشاغلين (4) في المنطقة الزلزالية (2).

2 ـ المنشآت المنتظمة التي يقل ارتفاعها عن (240 ft = 73.152 m) والقادرة على مقاومة القوى الجانبية.. باستثناء المنشآت الواردة في البند (4) أدناه.

3 ـ المنشآت غير المنتظمة التي لا تتجاوز (5) طوابق ، أو التي يزيد ارتفاعها عن (= 65 ft 19.80 m).

4 ـ المنشآت الحاوية على جزء مرن يستند على جزء صلد. حيث يمكن أن نعتبر تصنيف كلا جزئي المنشأ (وبشكل منفصل) منتظما.

وتعتبر هنا قساوة الطابق الوسطية للجزء السفلي، مساوية على الأقل عشر (10) مرات قساوة الطابق الوسطية للجزء العلوي. كما يعتبر دور الاهتزاز لكامل المنشأ أقل أو يساوي (1.1) مرة من دور الجزء العلوي، والذي نعتبره كمنشأ منفصل مثبت عند القاعدة.

تعطى قوة القص القاعدي التصميمي وفق الكود (UBC 94) بالعلاقة التالية وبالواحدات الدولية:

$$V = \frac{Z\,I\,C}{R_w} W$$

حيث:

(Z) ـ معامل المنطقة الزلزالية.

المنطقة الزلزالية	1	2 A	2 B	3	4
قيمة المعامل Z	0.075	0.15	0.20	0.30	0.40

(I) ـ معامل أهمية المنشأ.

(C) ـ معامل يأخذ بالاعتبار نسبة تسارع الهزة إلى تسارع الجاذبية الأرضية. على ألا يزيد عن (2.75).

$$C = \frac{1.25\,S}{T^{2/3}} \leq 2.75$$

(R_w) ـ معامل عددي يأخذ بالاعتبار نوع الجملة الإنشائية من خلال معامل السلوك، ونوع التربة من خلال معامل التربة. ($R_w = 12$ للإطارات $R_w = 6$ للجدران وما بينهما للجمل المختلطة).

(S) ـ معامل التربة المبين في الجدول المعطى على الصفحة (126).

(T) ـ دور المنشأ والذي يحسب وفق الكود المطلوب بطريقتين نذكر منها الطريقة التالية:

تحسب قيمة الدور (T) كما يلي:

$$T = 3\,C_t . h_n / 4$$

وتتعلق قيمة (C_t) بنوع الجملة الإنشائية الحاملة للقوى الجانبية.

فمن أجل جدران القص الخرسانية مثلاً تؤخذ قيمة (C_t) بالشكل التالي:

$$C_t = \frac{0.1}{\sqrt{A_c}}$$

وتحدد قيمة (A_c) التي تعبر عن المساحة الفعالة لجدران القص في الطابق الأول هنا من العلاقة التالية:

$$A_C = \sum A_e [0.2 + (\frac{D_e}{h_n})^2]$$

على ألا تزيد قيمة (D_e / h_n) عن (0.9). حيث (D_e) طول جدران القص في الطابق الأول بالاتجاه الموازي للقوة الجانبية. و (h_n) الارتفاع المدروس فوق المنسوب (n).

وهناك اشتراطات عديدة للعلاقة السابقة ليست ضمن موضوع هذا الكتاب، ويمكن من أجل الاطلاع عليها مراجعة النسخة الأساسية للكود أو الترجمة العربية ـ إصدار دار دمشق 2000

1 ـ 5 ـ 4 ـ 2 التحليل الديناميكي

يجب اعتبار القوة الزلزالية المطبقة كقوة ديناميكية (أو اتباع التحليل الديناميكي) في الحالات التالية:

1 ـ كافة المنشآت التي يكون ارتفاعها (240 ft ≈ 73.20 m) أو أكثر باستثناء المنشآت المنتظمة أو غير المنتظمة الواقعة في المنطقة الزلزالية رقم (1)، والمنشآت ذات تصنيف الشاغلين رقم (4) في المنطقة الزلزالية (2)، حيث يمكن أن يجري تحليلها بالطرق الستاتيكية.

2 ـ كافة المنشآت ذات القساوة والوزن الذاتي والأبعاد الهندسية غير المنتظمة.

3 ـ كافة المنشآت غير المنتظمة التي لا تتجاوز (5) طوابق، أو التي يزيد ارتفاعها عن

(65 ft ≈ 20 m) في المناطق الزلزالية (3 و 4).

4 ـ كافة المنشآت المنتظمة أو غير المنتظمة والمنفذة فوق تربة مقطعها الجانبي من النموذج (S 4) حسب تصنيف الكود، وذات دور الاهتزاز (0.7) ثانية.

وهنا يجب أن تحقق دراسة تحليل التربة متطلبات الفقرة التالية.

1 ـ 5 ـ 5 إجراءات القوة الجانبية الديناميكية Dynamic lateral- force procedures

ـ عند استخدام طرق التحليل الديناميكي في التصميم لمقاومة الزلازل فيجب أن تتطابق النتائج مع كافة التقييمات الحدية المعطاة في الكود (UBC)، كما يجب أن يتوافق المنشأ المصمم مع الاشتراطات والاحتياطات المطلوبة.

ـ يجب أن يبنى التحليل الإنشائي على مقاومة الحركة الأرضية ذات الشدة الملائمة.

ـ يجب أن يمثل السجل أو التاريخ الزمني لتطور الحركة الأرضية للموقع الموصوف الحركات الزلزالية الواقعية. كما ينبغي أن يتطابق طيف الاستجابة مع كل من التواريخ الزمنية وطيف الاستجابة التصميمي للموقع، إما مستقلين أو مجتمعين.

1 ـ 5 ـ 5 ـ 1 الحركة الأرضية Ground Motion

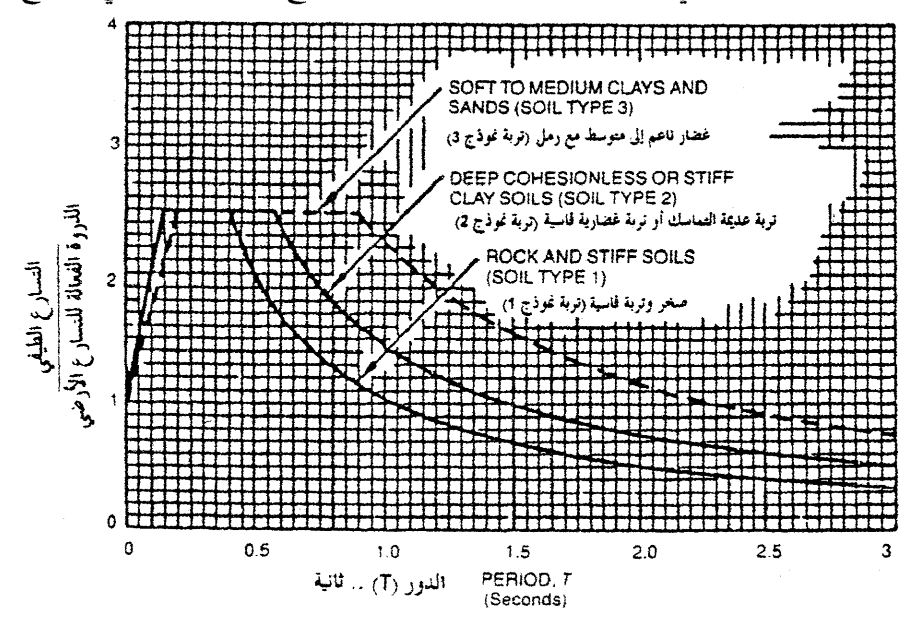
يجب أن تمثل الحركة الأرضية التصميمية احتمالا يزيد كحد أدنى، بما لا يقل عن (10 %) من الهزات التي يمكن أن تحدث خلال (50) عاما. ويمكن أن تعتمد هذه الحركة من إحدى الطرق التالية:

1 ـ طيف الاستجابة الطبيعية المعطى في الشكل (12).

2 ـ طيف الاستجابة للموقع بالاستناد إلى الدراسات الجيولوجية والتكتونية والزلزالية وخصائص التربة.

كما يجب أن تصعد نسبة التخامد بمقدار (5 %) إذا لم تكن هناك قيمة مختلفة منسجمة السلوك الإنشائي المتوقع عند الاهتزاز الشديدة للموقع المعتبر.

3 ـ يجب أن يمثل السجل الزمني لتطور الحركة الأرضية للموقع الموصوف كافة الحركات الزلزالية الواقعية، وينبغي أن يطابق طيف الاستجابة للمنشأ مع الطيف التصميمي للموقع.



الشكل 12 ـ مخطط نموذجي لطيف الاستجابة الطبيعي.

1 ـ 5 ـ 2 النموذج الرياضي Mathematical Model

ـ يعتمد النموذج الرياضي للمنشأ (في عملية النمذجة Modeling) بحيث يمثل قساوة الكتل الموزعة فيه حسب الاستجابة الديناميكية.

ـ تستخدم النمذجة الفراغية من أجل التحليل الديناميكي للحمل المستوية الصلبة أو نصف الصلبة.

1 ـ 5 ـ 3 وصف إجراءات التحليل Description of Analysis Procedures

أولا ـ تحليل طيف الاستجابة Response spectrum Analysis

ـ تستخدم في التحليل الديناميكي المرن أو الخطي (Linear) لنماذج المنشآت التي تتأثر

بالاستجابة الكلية للاهتزاز، أعلى قيمة للاستجابة الديناميكية (ذروة طيف الاستجابة).

- تحسب ذروة الاستجابة النموذجية من خلال منحني طيف الاستجابة التقريبية الطبيعية، والتي تتعلق بدور الاهتزاز.

- يتم تركيب المساهمات النموذجية العظمى للأنماط من الدراسة الإحصائية بغية الحصول على الاستجابة الكلية التقريبية للمنشأ.

- يمكن اعتبار أن (90%) من كتلة المنشأ مشمولة في حساب الطيف لكل اتجاه أفقي رئيسي أفقي.

ثانيا - تحليل السجل الزمني Time-history Analysis

يعرف تحليل التاريخ الزمني بأنه تحليل للطيف الديناميكي للمنشأ عند كل تغير أو تزايد زمني. وذلك عندما تكون تربة التأسيس خاضعة لتاريخ زمني معين لحركة أرضية موصوفة.

ثالثا - تركيب الأنماط Combining modes

يجب أن يجري حساب كل من القوى الناظمية وعزوم الانعطاف والفتل والقص الطابقي وردود الأفعال والانتقالات بالطرق المعروفة. وذلك في كافة عناصر الجملة المعتبرة في مقاومة الزلازل... وتؤخذ بالاعتبار كافة التأثيرات المركبة الأخرى عند استخدام النماذج الفراغية بهدف التحليل الإنشائي.

رابعا - تدرج (تعديل أو تقييس) النتائج Scaling of results

عندما يكون القص القاعدي في أي اتجاه مدروس مع اعتماد الإجراءات السابقة، أقل من القيم المدرجة أدناه فينبغي أخذ القيم التالية في التصميم:

يتم ضرب قيمة قوة القص القاعدي الناتجة عن التحليل الستاتيكي بالنسب التالية

- (100%) من أجل المباني غير المنتظمة.

- (90%) من أجل المباني المنتظمة. على ألا تقل قيمة قوة القص المذكورة عن (80%) من القيم الناتجة عن هذا التحليل، وذلك حين استخدام الدور (T) المحسوب بالطريقة المشروحة في الفقرة (3 - 3 - 1 - 1) من المثال (3) من الفصل الثالث.

خامسا ـ الفتل Torsion

ـ يجب أن تأخذ طريقة التحليل المعتمدة كافة تأثيرات الفتل بعين الاعتبار.

ـ عند استخدام النماذج الفراغية في التحليل الزلزالي، يجب أن تجرى التعديلات المناسبة على النتائج بغية أخذ الفتل الطارئ بالاعتبار كتعديل توزع الكتلة، أو الإجراءات الستاتيكية المكافئة.

فهرس الفصل 2 ـ التحليل الديناميكي في البرنامج...

الفصل 2. التحليل الديناميكي في البرنامج...

2 ـ 1 المعادلة العامة لتوازن القوى الديناميكية

استناداً لفيزيائية الحركات التي تناولها الملحق (B) تعطى المعادلة الزمنية العامة لتوازن القوى الديناميكية لجملة إنشائية اعتبرت كتلها مركزة في العقد بالشكل التالي:

$$P(t) = P(t)_M + P(t)_C + P(t)_S \qquad (10)$$

$P(t)$ ـ شعاع القوى الكلية الخارجية التي تتعرض لها الكتل المركزة في العقد في لحظة (t).

$P(t)_M$ ـ شعاع قوى أو حمولات العطالة التي تتعرض لها الكتل المذكورة في اللحظة (t). والمشروحة في الفقرة (2 ـ 6 ـ 2).

$P(t)_C$ ـ شعاع قوى أو حمولات التخامد اللزج التي تتعرض لها الكتل في اللحظة (t).

$P(t)_S$ ـ شعاع القوى الداخلية المتولدة في الكتل في اللحظة (t).

وتعتبر هذه المعادلة العامة صالحة للتطبيق على المنشآت الخطية واللاخطية على أن يؤخذ في الحالة الأخيرة الشكل المشوه للمنشأ بالاعتبار.

يمكن إعادة صياغة هذه العلاقة مع استخدام بعض التقريبات بالشكل التالي:

$$r(t) = M\,u``(t) + C\,u`(t) + K\,u(t) \qquad (11)$$

حيث $r(t)$ الحمولة المتغير مع الزمن.

M ـ مصفوفة الكتل.

$u``(t)$ ـ التسارعات المطلقة (بالنسبة للأرض) للعقد كتابع للزمن.

C ـ مصفوفة التخامد اللزج.

$u`(t)$ ـ السرعات المطلقة (بالنسبة للأرض) للعقد كتابع للزمن.

K ـ مصفوفة القساوات الستاتيكية للعناصر.

u(t) ـ الانتقالات المطلقة للعقد كتابع للزمن.

2 ـ 2 الاهتزاز الحر بدون تخامد (تحليل الحالة الثابتة)

من الطرق الشائعة الاستخدام في تحليل المنشآت المعرضة لحمولة تحريضية، ما يدعى بطريقة التحليل التوافقي للحالة الثابتة (Harmonic Steady- State Analysis). والتي يكون فيها تأثير التخامد على استجابة المنشأ معدوماً، وبالتالي تُمثَّل الحمولة المذكورة بالمعادلة:

$$r(t) = P \cos \omega t$$

وتصبح معادلة توازن القوى في المنشأ في حال عدم وجود تخامد كما يلي:

$$P \cos \omega t = M\, u``(t) + K\, u(t) \qquad (12)$$

ويعطي حل هذه المعادلة الانتقال والتسارع بالشكل التالي:

$$u(t) = a \cos \omega t \qquad (13)$$

$$u``(t) = -a\, \omega^2 \cos \omega t \qquad (14)$$

حيث (a) طويلة الاستجابة أو الانتقال البدئي. و (ω) السرعة الزاوية (أو نبض الحركة). وبالتبديل في العلاقة (12) نحصل على الشكل النهائي لمعادلة التوازن:

$$P = [K - \omega^2 M]\, a \qquad (15)$$

حيث:

K ـ مصفوفة القساوة في المنشأ المدروس.

M ـ مصفوفة الكتل في المنشأ المدروس، وهي مصفوفة قطرية.

ω^2 ـ مصفوفة القيم الذاتية والتي تمثل مربع السرعة الزاوية (أو نبض الحركة).. وهي مصفوفة قطرية أيضاً.

نذكِّر هنا بأن علاقة الدور (T) بالتواتر أو التردد (P) وبالسرعة الزاوية كما يلي:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{\omega / 2\pi} \quad (16)$$

نحصل من المعادلة (15) على قيمة (a)، وبالتالي على قيمة (u) بحسب المعادلة (13).

- **ملاحظات هامة حول نتائج تحليل الحالة الثابتة:**

1 ـ تشتمل المعادلة (12) على حالة التحليل الستاتيكي مع اعتبار أن ($\omega = 0$).

2 ـ تعتبر معاملات التخامد أثناء نمذجة المنشأ مساوية للصفر.. (انظر البند الأول من الفقرة 2 ـ 4 ـ 2 ـ 3).

3 ـ يجب أن تعتبر جميع القوى المحرضة للاهتزاز متساوية في خطوة الحل الواحد للبرنامج.

4 ـ عندما يتساوى تردد القوة المحرضة مع تردد المنشأ تنشأ حالة التجاوب (الطنين) وبالتالي تنتج قيم لانهائية للانتقالات. وهنا يعطي البرنامج رسالة تنص على أن المنشأ غير مستقر.

5 ـ لا يمكن تنفيذ أي من تحليل (Δ - P) أو تحليل طيف الاستجابة أو تحليل الحمولات المتحركة مع تحليل الحالة الثابتة، لأن كافة التحاليل المذكورة لا تعبر عن حالة ثابتة.

2 ـ 3 وسائل التحليل الديناميكي في البرنامج

2 ـ 3 ـ 1 التحليل باستخدام الأشعة الذاتية Eigenvector Analysis

ترتبط مسائل الاستقرار الخطي بقساوات العناصر المتعلقة بالشكل الهندسي، والتي تتلاشى فعاليامّا في وضع معين كتطبيق حمولات التحنيب مثلا في العناصر الإطارية والقشرية. وهذا ما يدعى بمسألة القيمة الذاتية، حيث تؤول المسألة إلى تحديد القيمة الحدية لشدة الحمولة التي تسبب التحنيب.

يتطلب هذا الأمر في الديناميك الإنشائي حساب الترددات الطبيعية الموافقة لأنماط الاهتزاز وبالتالي إيجاد مصفوفة الكتل التي تمثل الحمولة الديناميكية. مع الإشارة إلى أن قيم هذه المصفوفة تتناسب طردا مع مربع التردد الطبيعي.

تعتبر حالة الاهتزازات مسألة قيم ذاتية ولذا تسمى قيم مربع الترددات الطبيعية بالقيم الذاتية.

يستخدم تحليل الأشعة الذاتية (Eigenvector) الشكل المشوه للمنشأ في مسائل القيمة الذاتية لإيجاد أنماط الاهتزاز الحر غير المتخامد والترددات الطبيعية له... وتعبر هذه الأنماط بشكل جيد

عن سلوك المنشأ تحت الاهتزاز ولذلك تعتبر أساسا للتحليل بطريقتي طيف الاستجابة (Response Spectrum Analysis) والتحليل الزمني (Time History Analysis) الموضحتين في هذا الفصل.

يقوم البرنامج عند تحليل الترددات وأنماط الاهتزاز بحل مسألة القيمة الذاتية الممثلة بالمعادلة:

$$[K - \Omega^2 M]\Phi = 0 \quad (17)$$

حيث:

Ω^2 ـ مصفوفة القيم الذاتية وهي مصفوفة قطرية أيضا.

Φ ـ مصفوفة الأشعة الذاتية أو الأشكال النمطية (Mode Shape).

انظر المعادلة (4) في الفصل الأول.

إذن يتم التعبير بصورة أدق عن كل نمط اهتزاز بثنائية من مؤلفة من قيمة ذاتية وشعاع ذاتي.

2 ـ 3 ـ 1 ـ 1 عدد الأنماط Number OF Modes

يستطيع المستثمر تحديد عدد أنماط الاهتزاز المطلوب البحث عنها من قبل البرنامج من خلال أمر (Set Options) في قائمة (Define) حيث ترقم من (1) إلى (n) نمط، كما يمكن تحديد مجال أو سعة الترددات المطلوبة في المسألة وحدود تسامح التقارب (convergence tolerance) الذي يعبر عن الزمن الذي يصبح عنده التسارع معدوما.

إذا حدد المستثمر عددا ما من أنماط الاهتزاز ضمن مجال معين للتردد (موضوع الفقرة التالية) فسيبحث البرنامج عن **الأنماط ذات الأدوار الأطول (أو التواترات الأصغر)، باعتبارها الأكثر أهمية في التحليل.**

أما إذا لم يحدد المستثمر سعة معينة للتردد فسيبحث البرنامج عن الأنماط (n) ذات الترددات الأقرب إلى مركز السعات أو المجالات المتوفرة (وهو ما يدعى بمجال الإزاحة) المعرف أدناه، ثم يعتمد هذه الأنماط بناءا على عدد درجات الحرية المتعلقة بالكتل في المسألة.

ويمكن تعريف درجة الحرية المتعلقة بالكتلة بأنها الكتلة الفعالة القادرة على الانسحاب أو الدوران (كتلة ذات عطالة انسحابية أو دورانية)، وهي تتعلق بخصائص العقدة.

يستخدم البرنامج الأنماط المذكورة من أجل التحليل فيما بعد بطريقتي تحليل طيف الاستجابة والتحليل الزمني.

2 – 3 – 1 – 2 مجال التردد (مجال التكرار أو التواتر) Frequency Range

يتم إعطاء البرنامج أمر البحث عن سعة أو مجال معين للتردد من خلال وسيطين (Shift ,Cut).

يسمى الوسيط الأول (Shift) بوسيط الإزاحة وهو يعبر عن مركز مجال التردد. كما يسمى الوسيط الثاني (Cut) بوسيط القطع، ويعبر عن نصف قطر أو عن سعة بمجال التردد.. ويقوم البرنامج بعد ذلك بالبحث عن أنماط الاهتزاز التي تحقق المتراجحة التالية:

[P $\leq$ Cut

حيث (P) التردد المطلوب.

تعتبر القيمة الافتراضية للوسيط (Cut) مساوية للصفر، وهي تعبر عن مجال بحث غير محدد. وينصح باستخدام قيمة صفرية للوسيط (Shift = 0) بغية الحصول على الأنماط المطلوبة ذات الأدوار الأطول في المنشأ المدروس مع الانتباه إلى الملاحظة (1) أدناه.

يعطي البرنامج الأنماط المحسوبة بحيث يرتبها تصاعديا بدءا من مسافاتها عن مركز مجال التردد (مسافة الإزاحة Shift) وحتى نصف القطر (Cut) الذي يوقف عنده البحث، أو حتى الوصول إلى عدد درجات الحرية للكتل إذا كان عدد الأنماط أقل من قيمة (Cut) المحددة.

أما في حال حدد المستثمر عددا ما من أنماط الاهتزاز ضمن مجال معين للتردد كما ذكرنا أعلاه فسيعطي البرنامج عدد الأنماط المطلوبة بعد اختيار الأدوار الأطول (أو التواترات الأصغر).

وتكون قيم التكرارات أو الترددات الطبيعية موجبة في المنشأ المستقر (انظر الملاحظة 3 أدناه).

يعطي البرنامج في الملف ذي اللاحقة (Log) الذي يولده أثناء التحليل، عدد الترددات الأصغر. مع الإشارة إلى أن البرنامج يتوقف عن عملية التحليل عند اكتشافه لأي نمط سالب لأن مثل هذه النتائج لا تعبر عن أي معنى فيزيائي. وقد نصادف هذه الحالات في تحاليل (P -Δ) للمنشآت التي تتعرض لظاهرة التحنيب.

لذلك ينصح عند القيام بهذا التحليل باستخدام قيمة معدومة لوسيط الإزاحة (Shift = 0).

يقوم البرنامج عند استخدام قيم معينة للوسيط (Shift) بتعديل مصفوفة القساوة، ثم يطرح منها مصفوفة (جداء الكتل بمربع السرعات) والموافقة لتردد الإزاحة ($\omega_0 = 2\pi$ Shift).

هذا ويتوقف البرنامج عن عملية التحليل إذا كانت الإزاحة صغير جدا (أو قريبة من المركز).

تحسب أخيرا السرعة الزاوية (ω) لأي نمط اهتزاز موافق للقيمة الذاتية (Φ) من العلاقة:

$$\omega = \sqrt{\Phi^2 + \omega_0^2} \qquad (18)$$

2 ـ 3 ـ 1 ـ 3 ملاحظات هامة حول خيارات تحليل الأشعة الذاتية:

1 ـ عند الرغبة في القيام بتحليل ستاتيكي، أو تحليل (Δ - P)، أو تحليل الحمولات المتحركة، فيجب أن تكون قيمة الوسيط (Shift = 0) حتما. أما في التحليل الديناميكي بطريقة تحليل طيف الاستجابة أو بطريقة التحليل الزمني فلا يشترط ذلك.

2 ـ إذا كان تردد الحمولة الديناميكية كبيرا كحالة حمولات الآلات المولدة للاهتزاز فينصح باستخدام قيم موجبة للوسيط (Shift) عن مجال التردد.

3 ـ تتولد بعض أنماط الاهتزاز بترددات معدومة تعبر عن حركة المنشأ الصلد غير المقيد بطريقة صحيحة، وذلك عند تغير موضع الحمولات أثناء الحركة في المنشآت غير المستقرة.. وفي هذه الحالة لا نستطيع إيجاد الاستجابة الستاتيكية للمنشأ المذكور.. بيد أننا نستطيع استخدام قيمة سالبة للوسيط (Shift < 0) نستطيع من خلالها الحصول على أنماط الاهتزاز ذات التواترات الصغيرة، بما في ذلك الأنماط المعدومة التردد لحالة عدم الاستقرار. وفي هذه الحالة لابد من وجود كتلة مفعلة تقابل كل نمط لا مستقر.

2 ـ 3 ـ 1 ـ 4 تسامح التقارب Convergence Tolerance

يرمز البرنامج لتسامح التقارب بالرمز (tol) ويأخذ في البرنامج قيمة افتراضية قدرها (10^{6}). وهو عن طريقة رياضية تعتمد على التقريب المتتالي، تستخدم لحل مسائل القيم الذاتية والأشعة الذاتية في البرنامج. حيث يستمر التردد حتى الاقتراب من نمط اهتزاز معين حتى الوصول إلى

فارق نسبي بين القيم الذاتية أقل من (tol. 2).. أي:

$$tol \geq \frac{1}{2}\left|\frac{\Phi_{i+1} - \Phi_i}{\Phi_{i+1}}\right|$$

وفي الحالة التي يكون فيها مجال التردد صفرا (Shift = 0) تصبح هذه المتراجحة بالشكل:

$$tol \geq \left|\frac{f_{i+1} - f_i}{f_{i+1}}\right|$$

أو

$$tol \geq \left|\frac{T_{i+1} - T_i}{T_{i+1}}\right|$$

ويتم التقليل من قيم الخطأ النسبي في حساب الترددات والأشعة الخاصة بإعطاء الوسيط (tol) قيما صغيرة، بالرغم من أن ذلك يزيد من زمن التحليل في البرنامج.

2 ـ 3 ـ 2 التحليل باستخدام أشعة ريتز RITZ- Vector Analysis

تناولت الفقرة (2 ـ 3 ـ 1) السابقة كيفية استخدام طريقة الأشعة الذاتية لتحليل المنشآت المعرضة لحمولات ديناميكية.. إلا أن هذه الطريقة ليست الوحيدة، بل ليست الأفضل أيضا. فهناك طرق أخرى عديدة منها طريقة (RITZ) والتي يعتمدها البرنامج إلى جانب الطريقة السابقة باعتبارها تعطي نتائج أكثر دقة لإيجاد **أنماط الاهتزاز الطبيعية المرتبطة بالحمولات**. فهذه الطريقة تأخذ بالاعتبار التطبيق الفراغي للحمولات الديناميكية. وتعتبر أكثر دقة وسرعة في الإنجاز.

2 ـ 3 ـ 2 ـ 1 أشعة ريتز* RITZ- Vector

يلخص الحل بطريقة (RITZ) بإيجاد الانتشار الفراغي لشعاع الحمولة الديناميكية.. حيث يعتبر الشعاع الأول شعاعا ستاتيكيا ويسمى بالشعاع البدئي (انظر الفقرة التالية).

ومن خلال ذلك بقوم البرنامج بتوليد بقية الأشعة من خلال ضرب الكتلة بشعاع (RITZ) السابق ويتبع ذلك توليد شعاع جديد يعتبر بدئيا للقيام بدورة الحساب التالية (الحل الستاتيكي

* بغية التوسع في هذا الموضوع انظر كتاب طريقة العناصر المحددة للمؤلف الفصل السادس - الصفحة 110 - إصدار دار دمشق 1997

التالي أو دورة التوليد Generation cycle المشروحة في الفقرة 2 ـ 3 ـ 2 ـ 3 أدناه).

يهمل البرنامج أيا من الأشعة المذكورة التي لا تحرض أية درجة حرية كتلية حيث يحذف من دورات التوليد اللاحقة شعاع الحمولة البدئي المتعلق بالشعاع المهمل.

يستخدم البرنامج طريقة القيمة الذاتية لتوليد عدد معين من أشعة (RITZ) المتعامدة. ويصار بعد ذلك لإيجاد أنماط الاهتزاز المرتبطة بهذه الأشعة (أي أشكال الاهتزاز والترددات الموافقة لها). ويكون بذلك قد مثل الانتقالات الديناميكية للمنشأ من خلال أنماط أشعة (RITZ).

يتم تحديد عدد الأنماط المطلوبة (n) بالاستناد إلى عدد درجات الحرية لكتل المسألة، إضافة إلى عدد أنماط الاهتزاز المحرضة من أشعة الحمولة الابتدائية.. ويشير دليل البرنامج في الفصل (XVI) على الصفحة (290) من ملف (SAP REF 1)* إلى احتمال ظهور بعض الأنماط الطبيعية الإضافية بسبب أخطاء الحسابات العددية.

2 ـ 3 ـ 2 ـ 2 أشعة الحمولة الابتدائية Starting Load Vectors

يسمح البرنامج بتحديد أي عدد من هذه الأشعة. إذ يمكن أن يكون أي منها ناتجا عن:

- حمولة تسارع في اتجاهات المحاور العامة (X , Y , Z)
- من أية حالة تحميل أخرى.
- من حمولة تشوه أو من تشوه لاخطي (افتراضية من البرنامج ـ Default).

وينصح دليل البرنامج بتعيين أو تخصيص كتل أو عزوم عطالة لكل درجة حرية خاضعة لشعاع حمولة بدئي. وفي حال كون الحمولة هي حمولة تسارع ناتجة عن الكتلة، فإن هذا التعيين يتم بشكل آلي. أما في حالات التحميل الأخرى أو حالة التشوه اللاخطي التي تؤثر على درجة حرية ذات كتلة صفرية، فيعطي البرنامج تحذيرا يشير إلى ذلك باعتبار أن التحليل في هذه الحالة قد لا يولد أشعة بدئية أو قد يولدها بشكل خاطئ. ويشار هنا على سبيل المثال إلى أن التحليل بطريقة طيف الاستجابة يتطلب فقط تحديد حمولات التسارع.

---

* انظر أيضا الفصل VII من الملف SAP BASIC

في حين أن طريقة التحليل الزمني (T H) تتطلب تحديد حالات التحميل أو حمولات التسارع. كما يحتاج التحليل اللاخطي إلى تحديد حمولات التشوه اللاخطية.

إن زيادة عدد أشعة الحمولة الابتدائية المحددة يرفع من عدد أشعة (RITZ) اللازمة لمسح مجال التردد نفسه.. وهنا يقوم البرنامج بإيجاد أشعة (RITZ) الموافقة أشعة الحمولة الابتدائية المحددة في كل دورة مولدة، بحيث يساوي عدد الأنماط (n). ومن أجل ذلك ينبغي ترتيب الأشعة الحمولة الابتدائية بحسب أهميتها، وخاصة إذا كان عدد هذه الأشعة لا يقل كثيرا عن عدد الأنماط الكلي.

يقوم البرنامج باستخدام التسارعات بشكل افتراضي إذا لم يقم المستثمر بتحديد أشعة حمولة بدئية. ويعتبر التحليل في هذه الحالة صحيحا فقط في حالة التحليل الزلزالي بطريقة التحليل الطيفي أو طريقة التحليل الزمني ودون تطبيق أية حمولات أخرى.

2 – 3 – 2 – 3 عدد الدورات المولدة Number OP Generation cycles

يسمح البرنامج بتحديد أي عدد من الدورات (ncyc) المطلوب توليدها من أجل كل شعاع حمولة بدئي، أما الخيار الافتراضي للبرنامج فلا يحدد عدد الدورات.. ويقف التحليل عند الوصول إلى العدد (n) لأشعة (RITZ) المساوي لعدد الأنماط.

2 – 4 تنفيذ التحليل الديناميكي

2 – 4 – 1 آلية تنفيذ التحليل النمطي (تحليل الأنماط) Modal Analysis

يأخذ هذا التحليل عدد أنماط الاهتزاز بالاعتبار ويميز منها الأنماط ذات الأدوار الأطول (أو الترددات الأصغر).

يمكن في هذه الطريقة تحليل المنشآت المستوية والفراغية المتعددة الطوابق، حيث يقوم البرنامج بحساب كل من أدوار الاهتزاز والتسارعات وأنماط الاهتزاز والكتل الفعالة لكل نمط. ومن ثم إيجاد الانتقالات والأفعال الداخلية (قوى وعزوم) في كل عنصر من المنشأ ولكل نمط من الأنماط المعتبرة... (انظر الفقرة 3 – 1 – 2 – 4) من المثال (1) في الفصل الثالث.

يدعى جداء الشكل النمطي (φ) بحمولة التسارع الواحدية (m) في أي اتجاه بمعامل المساهمة (Participation Factors). وهو يمثل الحمولات العامة المؤثرة على نمط الاهتزاز بسبب كل حمولة من حمولات التسارع الواحدية.

تكتب هذه الجداءات في الاتجاهات العامة بالشكل:

$$P_{xn} = \varphi_n^T \cdot m_x \qquad P_{yn} = \varphi_n^T \cdot m_y \qquad P_{zn} = \varphi_n^T \cdot m_z$$

حيث:

(φ_n) شعاع الشكل النمطي (n).

(m_X , m_Y , m_Z) حمولات التسارع الواحدية في اتجاهات المحاور العامة.

وتعامل في البرنامج بحيث يكون جداء الأشكال النمطية (Mode Shape) بمصفوفة الكتل (M) مساويا للواحد:

$$\varphi_n^T \cdot M \varphi_n = 1$$

يعطي البرنامج في ملف الإخراج خصائص الأنماط المذكورة مهما كانت الطريقة المعتمدة في الحساب (الأشعة الذاتية أو أشعة RITZ). حيث نحصل في هذا الملف على البيانات التالية تحت عنوان (Modal Periods And Frequencies):

- الأدوار (T).. الثانية (S).
- الترددات (P).. مقلوب الثانية (1 / S).
- السرعات الزاوية (ω).. ($\omega = 2\pi P$) راديان في الثانية (rad / sec).
- القيم الذاتية (ω^2).. (SAPREF1- Page 320).

كما يظهر ملف الإخراج معاملات المساهمة تحت عنوان (Modal Participation Factors).

2 ـ 4 ـ 1 ـ 1 نسب الكتل المساهمة (أو الفعالة) Participating Mass Ratios

تعتبر نسب الكتل المساهمة في نمط اهتزاز معين مقياسا لأهمية هذا النمط وتأثيره على استجابة المنشأ لحمولات التسارع في الاتجاهات العامة، وبالتالي مقياسا لقراءة نتائج تحليل الحمولات

المتغيرة مع الزمن (Time- history analyses) موضوع الفقرتين (2 – 4 – 3) و (2 – 4 – 4).

ويشار هنا إلى عدم تقديم النسب المذكورة لأية معلومات حول دقة التحليل تحت حمولات أخرى. وتبين العلاقات التالية نسبة الكتلة المساهمة في نمط اهتزاز (n) في الاتجاهات العامة.

$$r_{xn} = \frac{f_{xn}^2}{M_x} \qquad r_{yn} = \frac{f_{yn}^2}{M_y} \qquad r_{zn} = \frac{f_{zn}^2}{M_z}$$

يظهر ملف الإخراج معاملات المساهمة تحت عنوان (Modal Participation Mass Ratios) وذلك بشكل مستقل لكل نمط وبشكل مجاميع تراكمية. ويفيد ذلك في معرفة حدود الدقة المطلوبة تحت حمولات التسارع الأرضي. إذ يجب أن تكون نسبة مساهمة الكتلة في كل مركبة من مركبات التسارع مساوية (% 100) فيما لو توفرت كافة أنماط المنشأ المدروس. غير أن هناك بعض الحالات التي لا تحتوي أنماط لا متناظرة محوريا كحالة وجود مساند أو قيود تمنع شروط التناظر فيها الكتل من الاستجابة لتسارعات خطية معينة... (انظر الفقرة 3 – 1 – 2 – 4) من المثال (1) في الفصل الثالث.

2 – 4 – 1 – 2 نسب مساهمة الحمولات الستاتيكية والديناميكية
Static and Dynamic Load Participation Ratios

أولا ـ نسبة مساهمة الحمولات الستاتيكية:

تعتبر هذه النسبة مقياسا لمدى تمثيل الأنماط المحسوبة لاستجابة المنشأ لحمولة ستاتيكية معطاة وممثلة بشعاع الحمولة (P).. وهي تمثل مساهمة النمط (n) في طاقة التشوه الكلية والناجمة عن المعادلة الستاتيكية (P = K u).

يعطى معامل المساهمة (f) الخاص بالنمط (n) بالعلاقة:

$$f_n = \varphi_n^T \cdot P$$

حيث شعاع (φ_n) الشكل النمطي (Mode Shape) للنمط (n) والذي يمثل معامل مساهمة الحمولة المؤثرة على النمط المذكور بسبب تطبيق (P).

وتعطى نسبة المساهمة الستاتيكية للنمط (n) بالعلاقة التالية:

$$r_n^S = \frac{(f_n / w_n)^2}{u^T P} = \frac{(f_n / w_n)^2}{u^T K u}$$

وتمثل (u) في هذه العلاقة حل المعادلة الستاتيكية (P = K . u).

يعطي ملف الإخراج نسب المساهمة تحت عنوان (Modal Load Participation Ratios) بشكل مجاميع تراكمية للأنماط المحسوبة كما يلي:

$$R^S = \sum_{n=1}^{N} r_n^S = \frac{\sum_{n=1}^{N} \left(\frac{\varphi_n^T P}{w_n}\right)^2}{u^T P}$$

وتعبر (N) عن عدد الأنماط الكلي الذي حصل عليه البرنامج. كما تعبر (R^S) عن القيمة العددية لجزء من الطاقة الكلية من (N).

ثانيا ـ نسبة مساهمة الحمولات الديناميكية:

تعتبر هذه النسب مقياسا لمدى تمثيل الأنماط المحسوبة لاستجابة المنشأ لحمولة ديناميكية معينة (P) شريطة أن تطبق هذه الحمولة على عقد ذات درجات حرية كتلية. ولا تعتبر مقياسا لذلك في حال تطبيق الحمولة المذكورة على عقد ذات كتلة صفرية.

تعطى نسبة المساهمة الديناميكية للنمط (n) بالعلاقة التالية:

$$R_n^D = \frac{(f_n)^2}{a^T P} = a\frac{(f_n)^2}{u^T Ma}$$

حيث (a) التسارع المحسوب بالعلاقة (P = M a). وتعتبر (a , P) مساوية للصفر من أجل درجات الحرية ذات الكتلة الصفرية.

وكما في الحالة السابقة يعطي ملف الإخراج نسب المساهمة بشكل مجاميع تراكمية للأنماط المحسوبة كما يلي، وذلك تحت العنوان (Modal Load Participation Ratios):

$$R^D = \sum_{n=1}^{N} r_n^D = \frac{\sum_{n=1}^{N} (\varphi_n^T P)^2}{a^T P}$$

2 ـ 4 ـ 1 ـ 3 التوابع (الدوال) Functions

يعرف التابع بأنه ثنائيات رقمية (فاصلة ، ترتيب) تمثل فاصلتها الدور بواحدة الزمن، وترتيبها استجابة التسارع شبه الطيفية (pseudo- spectrum). وتعبر هذه الثنائية عن تغير الحمولة بتغير الزمن (Time History).. (انظر المثال 1 في الفصل الثالث).

يسمح لنا البرنامج بتحديد وتعيين أي عدد من التوابع شريطة أن تعطى قيم الفواصل بشكل تصاعدي. وهناك إمكانية لتضخيم أو لتصغير قيم الفواصل أو التراتيب في كل مرة يستخدم فيها التابع.

1 ـ عندما يبدأ الزمن (أو الدور الذي يمثل قيم الفواصل) من القيمة (0) ويكون تزايده ثابتا، نحتاج فقط لتحديد قيمة التزايد (dt) والقيم المتتالية للتابع بدءا من اللحظة (0).

وهنا نحدد قيم التابع وفق الترتيب ($f_0, f_1, f_2 \quad {}_n$) والموافق لقيم الزمن ($0, dt, 2dt, 3 \quad ndt$). حيث يكون عدد القيم هو ($n + 1$).

2 ـ عندما لا يبدأ الزمن من القيمة (0) ويكون تزايده غير ثابت، فينبغي تحديد قيم التابع وفق الترتيب ($t_0, f_0, t_1, f_1, t_2, f_2 \quad {}_n, f_n$).

3 ـ إذا لم يتم تحديد أي تابع عند التحليل بطريقة طيف الاستجابة الموضحة في الفقرة التالية، فسيعتمد البرنامج تابعا ثابتا يمثل قيمة التسارع الواحدي من أجل كافة الأدوار.

2 ـ 4 ـ 2 التحليل بطريقة طيف الاستجابة Response Spectrum Analysis

يتم في هذه الطريقة إيجاد منحنيات أطياف الاستجابة كتوابع للزمن متعلقة باتجاه معين. ويمكن تمثيلها بعلاقة بيانية بين دور المنشأ والاستجابات ومن ثم تحليل هذه المنحنيات.

تعطى المعادلة الزمنية للتوازن الديناميكي الموافقة لاستجابة المنشأ للهزة الأرضية كما يلي:

$$M\ddot{u}(t) + C\dot{u}(t) + K u(t) = m_X \ddot{u}_{gx}(t) + m_Y \ddot{u}_{gy}(t) + m_Z \ddot{u}_{gz}(t) \qquad (19)$$

حيث:

(m_X, m_Y, m_Z) ـ حمولات التسارع الواحدية في اتجاهات المحاور العامة.

($\ddot{u}_{gx}, \ddot{u}_{gy}, \ddot{u}_{gz}$) ـ تسارعات الجاذبية الأرضية في اللحظة (t) في اتجاهات المحاور العامة.

وبقية المصطلحات معرفة أعلاه.

بعد إيجاد الاستجابات العظمى للانتقال والسرعة والتسارع يعطي التحليل بهذه الطريقة

الأفعال الداخلية (قوى وعزوم) والإجهادات الناجمة عنها. ومن ثم تجميع أنماط الاهتزاز كما في المعادلة (6) من المثال (1 – 2 – 3 – 1) في الفصل الأول، والتي تحسب بطريقة تحليل الأشعة الذاتية أو بطريقة أشعة (RITZ).

يستطيع البرنامج إنجاز أي عدد من حالات التحاليل الطيفية في عملية تحليل واحدة. ويمكن إعطاء اسم خاص لحالة تحليل والتي تدعى (Spec) اختصارا لتعبير (Spectrum).

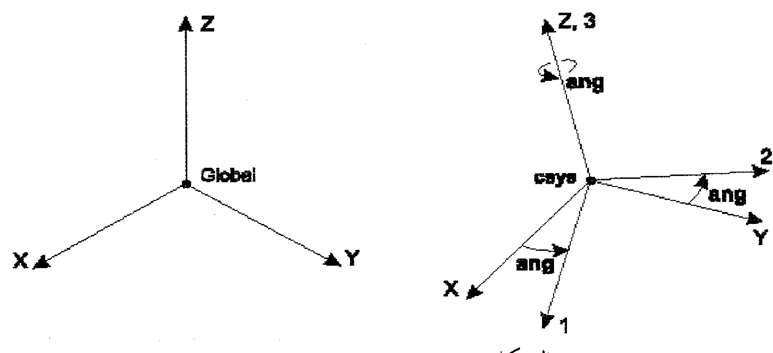
وتختلف كل حالة تحليل عن الأخرى في طيف التسارع المستخدم وفي طريقة تركيب النتائج. ويتيح البرنامج طباعة كل (Spec) بشكل مباشر من ملف الإخراج.

2 – 4 – 2 – 1 جملة الإحداثيات المحلية Local Coordinate System

تمتلك كل حالة تحليل (Spec) جملة إحداثيات محلية خاصة بها (3 , 2 , 1)، تساعد في تعيين اتجاهات حمولة التسارع الأرضي (أو اتجاهات التحريض) وتأخذ في الحالة الافتراضية اتجاهات المحاور العامة (X , Y , Z).. ونستطيع تعديل اتجاهات المحاور المذكورة من خلال الوسيطين (csys) و (ang) اللذان نعرف من خلالهما حالة التحميل الطيفي كما يلي:

– (csys) الإحداثيات الثابتة. ويكون في الحالة الافتراضية (csys = 0).

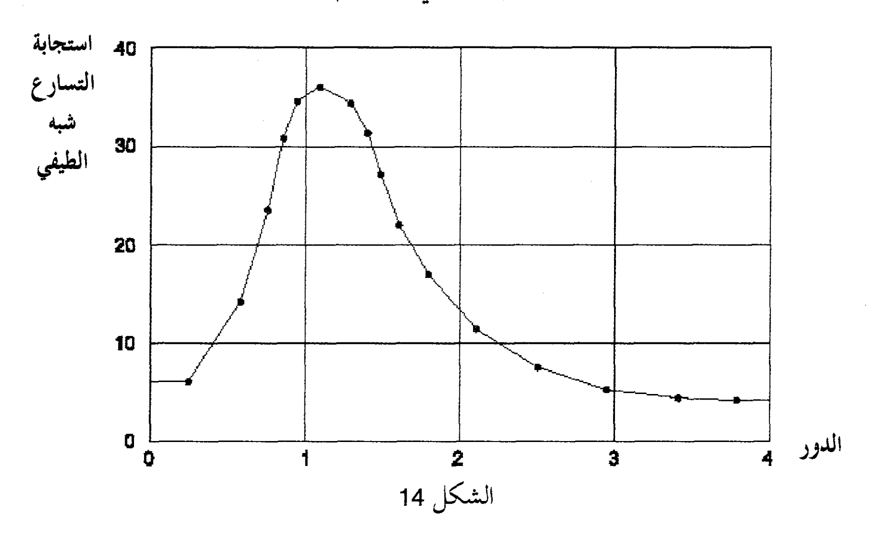
– (ang) زاوية التحريض بين المحاور المحلية والعامة. وفي الحالة الافتراضية يكون (ang = 0) وهي توافق حالة تطابق المحورين (1 و 2) مع (X و Y)، أما المحور (3) فيكون مطابقا للمحور (Z) على الدوام. وذلك كما في الشكل التوضيحي (13).



الشكل 13 – انظر الفقرة (52 – 4)

2 ـ 4 ـ 2 ـ 2 منحني طيف الاستجابة Response Spectrum Curve

يمثل هذا المنحني تابعا (Function) بيانيا يربط بين دور اهتزاز المنشأ واستجابة التسارع شبه الطيفي (Pseudo Spectrum).. وقد ذكرنا في هذه الفقرة أنه إذا لم يتم تحديد أي تابع، فسيعتمد البرنامج تابعا ثابتا يمثل قيمة التسارع الواحدي من أجل كافة الأدوار. وهنا يمكن أن نستخدم معامل (sf = scale factor) لتحويل قيم التسارعات المعطاة والناجمة عن الجاذبية الأرضية، إلى واحدات متوافقة مع المسألة كما في الشكل (14). والذي يوضح كيف أن تخامد اهتزاز المنشأ (Damping) مضمن في المنحني المرسوم.. (انظر الفقرة 2 ـ 4 ـ 3 ـ 3).



الشكل 14

إذا لم يعرف طيف الاستجابة على مجال كاف يغطي كافة أنماط الاهتزاز، فسيقوم البرنامج بتمديد المنحني المرسوم من الطرفين مستخدما بذلك تسارعا ثابتا له قيمة التسارع عند أقرب نقطة معرفة في طرف المجال.

2 ـ 4 ـ 2 ـ 3 تراكيب الأنماط (التراكيب النمطية) Modal Combination

يمكن إيجاز تسلسل خطوات التحليل بما يلي:

1 ـ تحديد أطوار الاهتزاز والأدوار الطبيعية للمنشأ المدروس.

2 ـ تحديد التسارعات العظمى الموافقة للأدوار الطبيعية من الطيف التصميمي من أجل كل نمط طبيعي.

3 ـ تحديد الكتل الفعالة أو المساهمة من أجل كل نمط طبيعي. ومن خلالها يتم قوى أو حمولات العطالة العظمى والمشروحة في الفقرة (2 ـ 6 ـ 2).

4 ـ تحديد القيم العظمى للاستجابات (انتقالات وسرعات وتسارعات) من أجل قوى العطالة المحسوبة (أو من أجل الاتجاهات المعطاة للتسارع) ولكل نمط اهتزاز طبيعي . ويتم ذلك من خلال تركيب الاستجابات المذكورة بإحدى الطرق التالية.

أولا ـ طريقة التركيب التربيعي التام (CQC) Complete Quadratic Combination

تعطي هذه الطريقة تراكيب القيم العظمى لطيف الاستجابة (S) وفق العلاقة التالي:

$$S_1 = \sqrt{\sum_{J=1}^{N} S_{1.j}^2 + 2\sum_{j=1}^{n} \left| S_{1,j} , S_{1,j} \right|} \qquad i \neq j \qquad (20)$$

وتجدر الملاحظة هنا أنه في الحالة التي تكون فيها القوة الزلزالية موازية لأحد المحاور العامة (كالمحور X مثلا) نلاحظ عند تشكيل معادلات قوى أو حمولات العطالة ($P_{i,j}$) أن الإحداثيات الطيفية ($S_{a,j}$) تأخذ قيمها بالشكل التالي:

1 ـ الإحداثيات الرأسية (Ordinate) للطيف التصميمي ($S_{ax,j}$) والموافقة للدور ($T = T_j$) من أجل كافة مركبات النمط (j)، لها قيم مقابلة على المحور (X).

2 ـ جميع الانتقالات الأخرى للنمط (j) تأخذ قيمة مساوية للصفر ($S_{ay,j} = 0$)، وكذلك تشوهات الفتل أو مركبات الفتل ($S_{aw,j} = 0$) على المحور (Y).

تعتبر طريقة التركيب التربيعي التام (CQC) هي الطريقة الافتراضية (Default) في برنامج (SAP 2000)... وهي تأخذ بالاعتبار ترابط الأنماط الناتجة عن التخامد الطيفي والقريبة من بعضها. فإذا اعتبر التخامد معدوما تؤول نتيجة الحساب بهذه الطريقة إلى الطريقة الأولى (SRSS) المشروحة في البند الثالث أدناه.

يتم تحديد التخامد بإحدى الطريقتين التاليتين:

1 ـ من خلال تعريف نسبة التخامد كنسبة من التخامد الحرج الذي يمثل من خلال الوسيط damp ... ($0 \leq damp < 1$) .. (انظر الفقرة 2 ـ 4 ـ 3 ـ 3).

يشار هنا إلى أن قيمة هذا الوسيط لا تؤثر على منحني طيف الاستجابة.

2 ـ بتعريف قيم للتخامد الفعال من خلال عناصر الربط اللاخطي (Nllink) المعرفة في المنشأ في الفقرة (2 ـ 5) وتوابعها.. حيث تنقل القيم المذكورة إلى الأنماط بشكل تناسبي يهمل الترابط بين هذه الأنماط.

ثانياً ـ طريقة التركيب العام للأنماط General Modal Combination (GMC)

تختلف هذه الطريقة الإحصائية عن الطريقة الأولى (CQC) في أنها تأخذ بالاعتبار الترابط بين الأنماط باستخدام الاستجابة الصلبة.

ويتم تحديد التخامد بإحدى الطريقتين المذكورتين في حالة (CQC) بشرط تحديد ترددين (f_1 , f_2) يتعلقان بالحمولات الزلزالية وليس بالمنشأ، مهمتهما تعريف محتوى الاستجابة الصلبة للهزة الأرضية. مع الإشارة إلى أن:

$$f_1 = \frac{S_{A\,max}}{2\pi S_{V\,max}} \qquad (21)$$

$$f_2 = \frac{f_1}{3} + \frac{2 f_r}{3} \qquad (22)$$

حيث:

($S_{A\,max}$) التسارع الطيفي الأعظمي للهزة الأرضية.

($S_{V\,max}$) السرعة الطيفية العظمى للهزة الأرضية.

(f_r) التردد الصلب للحركة الزلزالية المدخلة. وهو التردد الذي يكون عنده التسارع الطيفي ثابتاً ويقابل تردد لا نهائي (أو دور معدوم).

ويعتبر البعض أن ($f_2 = f_r$).

تعتبر القيم الافتراضية في البرنامج ($f1 = 1$) و ($f2 = 0$)، والقيمة الأخيرة تعني أن تردد لا نهائياً.
يفترض في طريقة (GMC) عدم وجود استجابة صلبة في الترددات الأقل من (f_1) والأعلى من (f_2).. حيث ($0 < f_1 < f_2$).

ثالثاً ـ التركيب بطريقة الجذر التربيعي لمجموع المربعات (SRSS)

Square Root of the Sum of their squares

يعمل هذا الخيار على جمع نتائج حالات التحميل المختارة بطريقة الجذر التربيعي لمجموع مربعاتها. ويستخدم في حالة التحليل الديناميكي كحالة تجميع أطياف الاستجابة.

$$S_1 = \sqrt{S_{1,1}^2 + S_{1,2}^2 + S_{1,3}^2 + \dots + S_{1,j}^2}$$

وهكذا فمن أجل عزوم الانعطاف مثلاً تصبح العلاقة السابقة كما يلي:

$$M_S = \sqrt{M_{S.1}^2 + M_{S.2}^2 + M_{S.3}^2 + \dots + M_{S.j}^2}$$

وهذا يعني أن فكرة التركيب مبنية على أساس أن الأنماط لا تصل جميعها في نفس الوقت إلى قيمها العظمى. أي أننا يمكن أن نعتبر التجاوبات النمطية بما فيها الانتقالات والفتل، مستقلة عن بعضها البعض. **وبالتالي تنتج قيمها العظمى الأكثر احتمالاً من طريقة الجذر التربيعي لمجموع المربعات (SRSS) وبالاعتماد على نظرية الاحتمالات.**

وعلى سبيل المثال يعتبر مفهوم استقلال الأنماط حسب الكود الأوروبي EC8 (CEN, 94) صحيحا في حال تحقق العلاقة التالية:

$$T_j = 0.9\,T_i \qquad (j < i)$$

حيث (T_i, T_j) الدوران الطبيعيان لأي نمطين متعاقبين للاهتزاز من الأنماط المعتبرة في التصميم الزلزالي.

إذا لم تتحقق المعادلة السابقة فينبغي استخدام طرق أكثر دقة. كطريقة التراكيب التربيعية التامة التالية.

رابعا ـ طريقة الجمع بالقيمة المطلقة (Absolute (ABS

تعتمد هذه الطريقة على جمع نتائج الاستجابات النمطية بقيمها المطلقة. وتعتبر طريقة متحفظة إلى حد بعيد.

2 ـ 4 ـ 3 التحليل الخطي بطريقة السجل أو التاريخ الزمني (الحمولات المتغيرة مع الزمن) Time History Analysis

ينجز هذا التحليل من تطبيق هزات نموذجية على المنشأ تماثل الزلزال لحقيقية، حيث يجري تفعيل قوى أو حمولات العطالة المتولدة عن جداء الكتل بالتسارعات بحسب قانون نيوتن الثاني المذكور في الفقرة (B ـ 1) من الملحق (B)، والمشروحة في الفقرة (2 ـ 6 ـ 2).

يجري تمثيل الحركة الزلزالية وفقا لهذه الطريقة بدلالة السجل الزمني للتسارعات الأرضية والكميات المتعلقة بها (السرعة والانتقال). ويبقى معيار القبول متعلقا بشكل رئيسي بمدى توافق الطيف المقترح مع طيف الاستجابة المرن.

يصنف التحليل الزمني الخطي في ثلاثة أنماط هي:

1 ـ نمط التحليل الخطي اللحظي (القصير العابر) Linear transient

يبدأ التحليل في هذا النمط من شروط ابتدائية مساوية للصفر أو من شروط نهاية دورة تحليل سابق. ويعتبر سلوك كافة العناصر خطيا خلال دورة التحليل الجديدة.

2 ـ نمط التحليل الدوري Periodic

يبدأ التحليل في هذا النمط من شروط ابتدائية يتم تعديلها وفق نهاية دورة التحليل السابقة. ويعتبر سلوك كافة العناصر خطيا أيضا خلال دورة التحليل الجديدة.

3 ـ نمط التحليل اللاخطي اللحظي Nonlinear transient

وهو مماثل للتحليل الأول مع افتراض أن سلوك كافة عناصر الربط (Nllink) المشروحة في الفقرة (2 ـ 5) لاخطيا، وسلوك العناصر الأخرى خطيا.

2 ـ 4 ـ 3 ـ 1 التحميل Loading

تتم نمذجة الحمولة الزمنية بدلالة التابع الرياضي المعطى معادلة التوازن الديناميكي التالية:

$$r(t) = M\,u``(t) + C\,u`(t) + K\,u(t)$$

ويستطيع البرنامج إنجاز أي عدد من التحاليل في خطوة التنفيذ الواحدة، حيث تحدد كل حالة تحليل بسجل الهزة (History) بعد أن تعطى اسما معينا.

يعتبر التابع r (t) اختياريا ويتم التعبير عنه بمجموع لحدود منتهية من جداء أشعة الحمولة في الفراغ (P_i) المأخوذة من حالات التحميل أو من حمولة التسارع، بتوابع زمنية معينة $f_i(t)$ يمكن أن تكون اختيارية (كأن تعتبر دورية كحمولات الرياح والأمواج البحرية).

$$r(t) = \sum_i f_i(t) . P_i$$

عند استخدام حمولات التسارع لتمثيل (P_i) فإن الكميات الناتجة من انتقالات وسرعات وتسارعات تكون مقاسة بالنسبة للأرض. وتمثل عندها المركبات الموافقة لتسارع الهزة الأرضية المنتظمة ($u''_{gx}, u''_{gy}, u''_{gz}$) التوابع الزمنية المرتبطة بحمولات التسارع الواحدية في اتجاهات المحاور العامة (m_X, m_Y, m_Z).

ويتم تحديد حدود التابع r (t) المذكور أعلاه كما يلي:

1 ـ كيفية تحديد أشعة الحمولة الفراغية Defining the Spatial Load Vectors

يتم تحديد (أو تعريف Define) شعاع الحمولة في الفراغ (P_i) لحد واحد من مجاميع المعادلة (25) كما يلي:

- تحديد حالة التحميل من الوسيط (Load).
- تحديد حمولة التسارع من الوسائط (acc , ang , csys).. حيث:

(csys) الإحداثيات الثابتة. ويكون في الحالة الافتراضية (csys = 0).

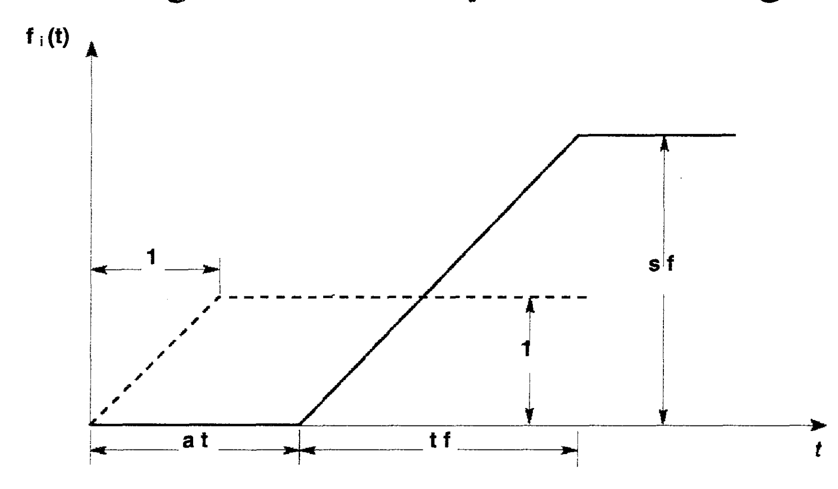
(ang) زاوية التحريض. ويكون في الحالة الافتراضية (ang = 0) وكما ذكر أعلاه فهذه الحالة الافتراضية توافق حالة تطابق المحورين (1 و 2) مع (X و Y). أما المحور (3) فيكون مطابقا للمحور (Z) دوما.

(acc) حمولة التسارع عند مركبات التسارع (U1 , U2 , U3) في جملة الإحداثيات المحلية المبينة في الشكل (13).

2 ـ كيفية تحديد التوابع Defining the Time Functions

يتم تحديد (أو تعريف Define) التوابع الزمنية $f_i(t)$ لحد واحد من مجاميع المعادلة (25) كما يلي:

ـ إعطاء اسم للتابع من خلال الوسيط (Func) الذي يحدد بدوره شكل التغير الزمني. وتعتبر الحالة الافتراضية (default) لهذا الوسيط في البرنامج هي التابع (Rump) الموضح في الشكل (15) والذي يسمح للمستثمر بتعديل المجال الزمني للتأثير بحيث نحصل على التابع المطلوب.



الشكل 15 ـ التابع الافتراضي (Rump) قبل وبعد التصعيد بالمعاملات المعطاة.
Built-in Ramp Function before and after Scaling

ـ يتم إدخال قيمة معامل تصعيد الإحداثي الشاقولي (sf = Scale Factor) للتابع (Rump). والقيمة الافتراضية لهذا المعامل هي (1).

ـ إدخال قيمة معامل تصعيد الإحداثي الأفقي أو الزمن (tf) للتابع (Rump). والقيمة الافتراضية لهذا المعامل هي (1) أيضا.

ـ إدخال قيمة زمن التأثير أو زمن الوصول (at) عندما يبدأ التابع المحدد بالتأثير في المنشأ... والقيمة الافتراضية لهذا المعامل هي (0).

ينسب التابع الجديد إلى التابع الافتراضي من خلال العلاقة التالية:

$f_i(t)$ unc (t)

كما ينسب زمن التحليل الجديد للمقياس الزمني الافتراضي من خلال العلاقة التالية:

t = at + tf . t

ـ ملاحظات:

1 ـ يمكن استخدام التابع (Rump) لتطبيق حمولات ستاتيكية بشكل تدريجي أو لتطبيق حمولات نبضية من التوابع المثلثية أو من أجل التوابع الأكثر تعقيدا.

2 ـ إذا كان زمن التأثير موجبا فإن البرنامج يؤجل تطبيق التابع (Func) إلى ما بعد البدء بالتحليل. أما إذا كان زمن التأثير سالبا فإن البرنامج يهمل الجزء من التابع الواقع قبل اللحظة (t = - at / tf).

3 ـ عند تحديد أو تعريف التابع (Func) بين لحظتي البدء (t_0) والنهاية (t_n) يأخذ البرنامج قيمة التابع Func = 0 مساوية للصفر من أجل ($t < t_0$). كما يأخذ قيمة التابع ثابتة وتساوي Func = f (t_n) من أجل ($t > t_n$).

4 ـ في حال لم يحدد المستثمر أي تابع يستخدم البرنامج التابع الافتراضي (Rump) الموضح في الشكل (15)، والمؤثر بين اللحظتين (t = 0 و t = 1).

2 ـ 4 ـ 3 ـ 2 ترتيب الأنماط Mode Superposition

ذكرنا في الفقرات السابقة أن البرنامج يستخدم طريقة تحليل الأشعة الذاتية (Eigenvector) لإيجاد أنماط الاهتزاز الحر غير المتخامد والترددات الطبيعية له.. كما يستخدم طريقة (RITZ) لإيجاد أنماط الاهتزاز الطبيعية المرتبطة بالحمولات.

ومن أجل معادلات التوازن الديناميكي للمنشأ ككل، يعتمد البرنامج طريقة ترتيب الأنماط في تحليل أطياف الاستجابة المحسوبة بالطرق المذكورة... وهنا يجب على المستثمر التأكد من أن عدد الأنماط التي أوجدها البرنامج كافيا لتمثيل الاستجابة الحقيقية للمنشأ.. ولهذا الغرض يجب التأكد مما يلي:

1 ـ كفاية عدد الأنماط المحسوبة.

2 ـ كفاية تغطية هذه الأنماط لمجال الترددات.

3 ـ دقة نسب الكتل المساهمة في حال تطبيق حمولات التسارع.

4 ـ تمثيل الأشكال النمطية للشكل المشوه للمنشأ.

5 ـ توازن القوى في الاتجاهات العامة لكل نمط اهتزاز.

2 ـ 4 ـ 3 ـ 3 تخامد الأنماط (التخامد النمطي) Modal Damping

ينمذج البرنامج تخامد المنشآت باستخدام طريقة تدعى باسم (طريقة التخامد التناسبي أو العادي Proportional Or Classical Damping).

وكما ذكرنا في البند الأول من الفقرة (2 ـ 4 ـ 2 ـ 3) يقوم المستثمر بتحديد التخامد من خلال تعريف نسبة التخامد كنسبة من التخامد الحرج الذي يمثل من خلال الوسيط Damp (0 < Damp < 1).. وهي تتراوح في الخرسانة بين (0.05 و 0.10).

تمثل قيمة (Damp) المعرفة أعلاه عند استخدام التحليل الخطي واللاحظي (المذكور في البند 3 من الفقرة 2 ـ 4 ـ 3) المصدر الوحيد لتعريف تخامد المنشأ المدروس. في حين تعطي العناصر (Nllink) المعرفة في المسألة تخامدا إضافيا عند استخدام أحد التحليلين الخطي اللحظي أو الدوري. ويجري تعريف هذا التخامد الإضافي من خلال معاملات التخامد الفعال والتي يحولها البرنامج إلى نسب تخامد تناسبي للأنماط بشكل يتجاهل معه التقاطعات بين هذه الأنماط.

2 ـ 4 ـ 3 ـ 4 الخطوات الزمنية (المراحل أو القفزات الزمنية) Time Steps

ينفذ التحليل الزمني على مراحل يحدد فيها عدد الخطوات الزمنية (dt) من خلال الوسيط (nstep = Number Of Time Steps)، بحيث تصبح الخطوة الزمنية الكلية والتي تساوي طول فترة الهزة هي (nstep x dt).. (انظر الفقرة 3 ـ 1 ـ 3 ـ 1 من الفصل الثالث).

يعطي البرنامج (nstep + 1) قيمة عددية من أجل الاستجابات الكلية، باعتباره يحسب الاستجابات عند نهاية كل مرحة (dt).

ينصح دليل البرنامج بإعطاء قيمة للخطوة الزمنية بحدود عشر الدور لأعلى نمط اهتزاز.

مع الإشارة إلى إمكانية زيادة قيمة الخطوة إذا كانت مساهمة الأنماط العليا صغيرة ... (انظر الصفحة 341 من الملف SAP REF1 المرفق بدليل البرنامج).

2 – 4 – 3 – 5 الشروط الابتدائية Initial Conditions

يقصد بالشروط الابتدائية ما يلي:

1 – الانتقالات والسرعات Displacements and velocities

2 – القوى الداخلية والإجهادات Internal forces and stresses

3 – متحولات الحالة الداخلية لعناصر الربط اللاخطي (Nllink) إن وجدت Internal state variables for the Nllink elements, if any

4 – قيم الطاقة في المنشأ Energy values for the structure

وتوصف هذه الشروط حالة المنشأ في بداية تطبيق الحمولة الزمنية.

يستخدم الوسيط (Prev) لتحديد شروط البدء عند استخدام التحليل اللحظي الخطي (Linear transient) أو التحليل اللحظي اللاخطي (Nonlinear transient)، ولا يستخدم في حالة التحليل الدوري (Periodic).

ففي الحالة التي يعتبر فيها (Prev = 0) يبدأ التحليل من شروط ابتدائية مساوية للصفر وهنا تحسب التسارعات الابتدائية للمنشأ من معادلة التوازن في اللحظة (t = 0).

وفي الحالة التي يأخذ فيها الوسيط (Prev) قيمة مغايرة للصفر تؤخذ فإن هذه القيمة تؤخذ من الحالة الزمنية السابقة للحالة الجديدة. ويعطي البرنامج قيم الحمولات والتسارعات في الحالة الجديدة، من خلال جمع نتائج تحليل الحالة السابقة مع نتائج نهاية التحليل للحالة الأخيرة.. والمثال التالي يوضح ذلك.

– مثال تطبيقي Example

لنفترض أن البرنامج قام بإجراء ثلاثة تحاليل زمنية لحظية خطية، ومعرفة بحيث تنفذ دفعة واحدة وفق المعطيات التالية:

1 - Name = GRAV , nstep = 40 , dt=1 , prev = 0

Damp = 0.99 (نسبة التخامد من أجل كافة الأنماط)

تتولد الحمولات الديناميكية المطبقة على المنشأ عن حالتي التحميل الآتيتين:

- Load = DL , func = 0 , tf = 10

- Load = LL , func = 0 , tf=10

2 - Name = LPRIET , nstep = 2000 , dt=0.02 , prev = GRAV

Damp = 0.05 (نسبة التخامد من أجل كافة الأنماط)

تتولد الحمولات الديناميكية المطبقة على المنشأ من حمولتي التسارع التاليتين:

- acc = U 1 , func = LPRIET1 , sf=386.4

- acc = U 2 , func = LPRIET2 , sf=386.4

3 - Name = ELCENT , nstep = 2000 , dt = 0.02 , prev = GRAV

Damp = 0.05 (نسبة التخامد من أجل كافة الأنماط)

تتولد الحمولات الديناميكية المطبقة على المنشأ من حمولتي التسارع التاليتين:

- acc = U 1 , func = ELCENT1 , sf = 386.4

- acc = U 2 , func = ELCENT2 , sf=386.4

1 ـ ينفذ البرنامج التحليل بدءا من الحالة الأولى (حالة الجاذبية GRAV) بشروط ابتدائية مساوية للصفر باعتبار أنه لا توجد حالة سابقة. وهنا تطبق الحمولتان الحية والميتة (DL , LL) بشكل بطيء من خلال التابع التصاعدي (Ramp) الموضح في الشكل (15) ولمدة (10) ثواني. ومن ثم يحافظ التابع على قيمته لمدة (30) ثانية.

وقد اختيرت الخطوة الزمنية (nstep = 40) بحيث تزيد عن أطول دور للمنشأ.. كما اختيرت نسبة تخامد عالية جدا لتفادي نمط الاهتزاز تحت هذه الحمولات.

ويشار هنا إلى أهمية القيمة المرتفعة لنسبة التخامد في حالة التحليل اللاخطي لأن الاهتزاز قد يولد سلوكا للمنشأ بعيدا عن الواقع.

2 ـ تنطلق حالتا التحليل الثانية والثالثة (LPRIET , ELCENT) من نهاية الحالة السابقة. وتطبق تسارعات الأرض على المنشأ مع نسبة تخامد (Damp = 0.05) مع بقاء حمولات الثقالة من الحالة الأولى مطبقة على المنشأ.

وتفيد هذه الطريقة كثيرا في حالة التحليل اللاخطي المشروحة في الفقرة (2 ـ 5) لأن سلوك بعض عناصر الربط اللاخطي (Nllink) (كالفجوات Gap والعوازل Isolator 2 والخطافات Hook)، يعتمد بشكل واسع على القوة الإجمالية والانتقال المطبقان على المنشأ المدروس.

2 ـ 4 ـ 3 ـ 6 نتائج التحليل Analysis Results

يعطي البرنامج عند استخدام طريقة التحليل الزمني (Time History Analysis) نوعين من النتائج هما الآثار والمغلفات:

1 ـ الآثار traces

وهي مخططات بيانية لقيم أطياف الاستجابة كتوابع للزمن (انظر الشكل 2 في الفصل الأول). ويمكننا البرنامج من الحصول على العديد من المخططات التي تربط بين أي متحولين مما يلي:

- انتقالات العقد والسرعات والتسارعات.
  Joint displacements, velocities, and accelerations
- ردود الأفعال في العقد والقوى في النوابض.
  Joint reactions and spring forces
- القوى الداخلية في العناصر الإطارية والقشرية وعناصر الربط اللاخطي.
  Frame, Shell, and Nllink element internal forces
- الإجهادات في العناصر القشرية والمستوية والكتلية (انظر الفقرة 1 ـ 3 ـ 4 ـ 2 على الصفحة 26 من الجزء الأول).
  Shell, Plane, Asolid, and Solid element stresses
- ردود الفعل في قاعدة المنشأ من حمولات التسارع الأرضي.
  Base reactions for ground- acceleration loading
- الحل بطريقة الطاقة ـ الطاقة الداخلة والطاقة الحركية والكامنة وتخامد الأنماط والتخامد اللاخطي والسلوك التراجعي اللاخطي.
  Solution energies: input, kinetic, potential, modal damping, nonlinear damping, and nonlinear hysteretic

2 ـ المغلفات Envelopes

وهي القيم العظمى والصغرى من أجل كل قيمة من قيم الاستجابة. ويعطي البرنامج هذه

القيم إما في ملف الإخراج أو من واجهة العرض البيانية.

وإذا أردنا الحصول على القيم المذكورة فيجب اختيار حساب هذه المغلفات من أجل كل حالة تحليل زمني مختارة، لأن الحالة الافتراضية في البرنامج لا تتضمن هذا حساب.

يحسب البرنامج القيم العظمى والصغرى التالية لمغلف حالة تحليل معينة:

- انتقالات العقد Joint displacements
- ردود الأفعال في العقد والقوى في النوابض Joint reactions and spring forces
- القوى الداخلية في العناصر الإطارية والقشرية وعناصر الربط اللاخطي. Frame, Shell, and Nllink element internal forces
- الإجهادات في العناصر القشرية والمستوية والكتلية Shell, Plane, Asolid, and Solid element stresses

2 ـ 4 ـ 4 التحليل اللاخطي بطريقة السجل الزمني Nonlinear Time- History Analysis

إذا كان لدينا منشأ خطيا مرنا يحتوي على بعض عناصر الربط اللاخطية (Nllink) المشروحة في الفقرة (2 ـ 5) والتي تتعرض لحمولات متغيرة مع الزمن، فإن معادلة التوازن الديناميكي في البرنامج لهذا المنشأ تعطى بالشكل التالي:

$$r(t) = M\,u``(t) + C\,u`(t) + K_L\,u(t) + r_N(t) \qquad (23)$$

حيث:

r شعاع الحمولات المطبقة.

C ـ مصفوفة نسب التخامد.

K_L ـ مصفوفة قساوات العناصر الخطية المرنة (كافة العناصر ماعدا Nllink).

r_N ـ شعاع القوى الداخلية في عناصر الربط اللاخطية (Nllink).

وبقية المصطلحات معرفة سابقا

يجب تعريف القساوة الفعالة الخطية لكل درجة حرية في العناصر (Nllink) تتراوح بين الصفر والقساوة اللاخطية العظمى. وبعد ذلك تصبح المعادلة السابقة كما يلي:

$$(24) \quad r(t \quad r_N(t) - K_N\, u(t)] = M\, u``(t) + C\, u`(t) + K\, u(t)$$

حيث:

$$(25) \quad K = K_L + K_N$$

وتمثل هنا (K_L) مصفوفة قساوات العناصر الخطية ودرجات الحرية الخطية في العناصر (Nllink).

كما تمثل (K_N) مصفوفة قساوات العناصر اللاخطية.

2 – 4 – 4 – 1 ترتيب الأنماط Mode Superposition

تعطى معادلة التوازن بالشكل النمطي التالي:

$$\Omega^2\, a(t) + \Lambda\, a(t) + I\, a(t) = q(t) - q_N(t)$$

حيث:

(Ω^2) مصفوفة مربعات قيم ترددات المنشأ (مصفوفة قطرية).

The diagonal matrix of squared structural frequencies — $\Omega^2 = \Phi^T K \Phi$

(Λ) مصفوفة التخامد النمطي (تعتبر مصفوفة قطرية).

The modal damping matrix which is assumed to be diagonal — $\Lambda = \Phi^T C \Phi$

(1) المصفوفة الواحدية التي تحقق العلاقة.

The identity matrix — $I = \Phi^T M \Phi$

q (r) شعاع الحمولات النمطية المطبقة.

The vector of modal applied loads — $q(t) = \Phi^T r(t)$

q_N (t) شعاع القوى النمطية من العناصر اللاخطية.

The vector of modal forces from the nonlinear elements — $q_N(t) = \Phi^T [r_N(t) - K_N\, u(t)]$

a (t) شعاع الانتقالات النمطية.

The vector of modal displacement amplitudes such that — $u(t) = \Phi\, a(t)$

(Φ) مصفوفة الأشكال النمطية. The matrix of mode shapes

تختلف معادلات التحليل الديناميكي اللاخطي عن معادلات التحليل الديناميكي الخطي بأن الأنماط في الأولى مترابطة، وكذلك القوى اللاخطية q_N (t) التابعة بدورها للانتقالات الخطية a (t).

يتطلب حل المعادلات النمطية لتوليد القوى اللاخطية من خلال القوى $q_N(t)$ توفر ما يلي:

1 ـ امتلاك كافة درجات الحرية لكتل أو لعزوم عطالة أو لكليهما.

2 ـ ينبغي استخدام طريقة (RITZ) لإيجاد أنماط الاهتزاز الطبيعية المرتبطة بالحمولات. إلا إذا كان التحليل بطريقة القيم الذاتية يحقق توليد هذه الأنماط.. (وينصح دوما باستخدام الطريقة الأولى).

3 ـ يجب إعطاء أشعة (RITZ) الابتدائية حمولة انتقال لاخطي لكل درجة حرية لاخطية مستقلة.

4 ـ يجب البحث عن عدد كاف من أشعة (RITZ) للحصول على التشوه الكلي في العناصر اللاخطية.

2 ـ 4 ـ 4 ـ 2 تخامد الأنماط (التخامد النمطي) Modal Damping

يستخدم البرنامج طريقة التخامد التناسبي أو العادي (Proportional Or Classical Damping) لنمذجة تخامد المنشآت كما في حالة التحليل الزمني الخطي، وذلك من أجل مصفوفة القساوة الكلية (K) والتي تشتمل على قيم القساوة الفعالة في العناصر اللاخطية ذات الأهمية القصوى في حالة التحليل اللاخطي.

ومن أجل القيام بذلك ينبغي اعتبار القساوة الابتدائية لأي عنصر أو القساوة المماسية (Secant Stiffness) التجريبية المقابلة للقيم المتوقعة للانتقالات، هي القساوة الفعالة له.

2 ـ 4 ـ 4 ـ 3 الحل المتتالي أو المتكرر Iterative Solution

ـ انظر الفقرة (2 ـ 4 ـ 3 ـ 4).

يحل البرنامج المعادلات اللاخطية لأنماط الاهتزاز في كل خطوة زمنية بشكل متتالي حيث يفترض أن الحد الأيمن من هذه المعادلات خطيا... وتتم متبعة الحل حتى الوصول إلى لتقارب المطلوب. وإن فشل البرنامج في ذلك فيقوم بتقسيم الخطوة الزمنية إلى مراحل جزئية أقل ليعيد الحل بعدها من جديد.. (انظر الفقرة التالية).

وفي حال الفشل في تحقيق التقارب في الحالة الأخيرة فقد يأخذ التحليل وقتا طويلا أو قد تظهر نتائج خاطئة. ولابد للمستثمر في هذه الحالة من تغيير وسائط المسألة المذكورة في الفقرة التالية، بعد التحقق من الحمولات والخصائص التي تعطي الأنماط المناسبة.

2 ـ 4 ـ 4 ـ 4 وسائط الحل Solution Parameters

تعتبر الوسائط الافتراضية التي يعتمدها البرنامج صالحة للاستخدام في شتى المسائل، وهذه الوسائط هي:

1 ـ وسيط التسامح في التقارب النسبي للقوة (ftol)
The relative force convergence tolerance
ـ تعتبر القيمة الافتراضية لهذا الوسيط ($ftol = 10^{-5}$) ويجب أن تكون موجبة دوما.

ومن أجل التحقق من تقارب القوة (Force Convergence Check) يقوم بتقسيم الخطوة الزمنية المختارة (dt) إلى مراحل جزئية بحسب الحاجة لتحقيق التقارب. وتتم متابعة الحل كما ذكرنا في الفقرة السابقة من أجل كل مرحة جزئية حتى الوصول إلى التقارب المطلوب.

ويعتبر التقارب المذكور مقبولا عندما يصبح الفارق النسبي بين قيم الحد الأيمن للمعادلات اللاخطية لأنماط الاهتزاز أقل من قيمة التسامح في التقارب النسبي للقوة (ftol).

وفي حال فشل البرنامج بالوصول للفارق المذكور فسيقوم بتقسيم الخطوة الزمنية الجزئية إلى نصفين ليعيد الحل بعدها من جديد.

2 ـ وسيط التسامح في التقارب النسبي للطاقة (etol)
The relative energy convergence tolerance
ـ تعتبر القيمة الافتراضية لهذا الوسيط ($etol = 10^{-5}$) ويجب أن تكون موجبة دوما.

يساعد هذا الوسيط في اكتشاف التغيرات المفاجئة أو الحادة للسلوك اللاخطي. ويعمل البرنامج من خلاله على التحقق من مدى تقارب سلوك القوى اللاخطية من سلوك القوى الخطية.

من أجل التحقق من تقارب الطاقة (Energy Convergence Check) يقوم البرنامج بعد أن يتحقق من تقارب القوة ضمن العدد المسموح من الترددات بمقارنة العمل المقدم من القوى اللاخطية مع العمل القدم من القوى الأخرى، وذلك من خلال معادلات توازن الأنماط.

فإذا كان الفارق النسبي بين هذه الأعمال أكبر من قيمة (etol) فسيقوم بتقسيم الخطوة الزمنية الجزئية إلى نصفين ليعيد الحل بعدها من جديد.

3 ـ وسيط الحجم الأعظمي للخطوة الزمنية الجزئية المسموحة (dtmax)

The maximum allowed substep size

تعتبر القيمة الافتراضية لهذا الوسيط (etol = dt).

4 ـ وسيط الحجم الأدنى للخطوة الزمنية الجزئية المسموحة (dtmin)

The minimum allowed substep size

القيمة الافتراضية ($dtmin = dtmax . 1 \times 10^{-10}$).

ويجب أن تتحقق المتراجحة:

$$0 < dtmin \leq dtmax \leq dt$$

إذا حققت أول خطوة زمنية جزئية تقاربي القوة والطاقة فسيتابع البرنامج الحل بالانتقال إلى خطوة جزئية أخرى يبلغ طولها ضعف الأولى ليتحقق من ذلك، على ألا يزيد حجم الخطوة الجزئية عن (dtmax). وفي حال الفشل بالوصول للتقاربات المطلوبة، فسيقوم بتقسيم الخطوة الزمنية الجزئية إلى نصفين ليعيد الحل بعدها من جديد على ألا تقل الخطوة الجديدة عن (dtmin). وهكذا يستمر التحليل بهذه الطريقة حتى انتهاء الحل.

5 ـ وسيط العدد الأعظمي لترددات القوة في الخطوات الزمنية الجزئية (itmax)

The maximum number of force iterations permitted for small substeps

تعتبر القيمة الافتراضية لهذا الوسيط (itmax = 100).

6 ـ وسيط العدد الأدنى لترددات القوة في الخطوات الزمنية الجزئية (itmin)

The maximum number of force iterations permitted for small substeps

تعتبر القيمة الافتراضية لهذا الوسيط (itmin = 2).

ويجب أن تتحقق المتراجحة:

$$2 \leq itmin \leq itmax$$

7 - وسيط معامل التقارب (cf) The convergence factor

تعتبر القيمة الافتراضية لهذا الوسيط (cf = 1) ويجب أن تكون موجبة دوما.

ترفع القيم الصغيرة لهذا الوسيط من دقة الحل ولكنها تحتاج لعدد أكبر من عدد مرات التردد لتحقيق التقاربات المذكورة أعلاه.

يتم اللجوء إلى تصغير قيمة (cf) في المسائل الحاوية على مخمدات ذات أس لاخطي، كما هو مشروح أدناه.

يسمح في بعض المسائل باستخدام قيم أكبر من الواحد للوسيط (cf). بيد أن هذا الإجراء غير منصوح به باعتباره يقلل من دقة الحل.

2 - 4 - 4 - 5 الدور الستاتيكي Static Period

في الحالة العادية يعتبر البرنامج أن كافة الأنماط التي يتعامل معها البرنامج في كل خطوة زمنية، ديناميكية ومؤلفة من جزأين هما:

1 - الاستجابة القسرية (Forced response) وهي تتناسب مع الحمولة النمطية.

2 - الاستجابة اللحظية أو العابرة (Transient response) وهي تتناسب مع الانتقالات والسرعات في بداية الخطوة الزمنية.

ويمكن من أجل الجزء الأول اعتبار أنماط الاهتزاز ستاتيكية فقط، حيث تلغى الاستجابات اللحظية.

ونحتاج لهذا الاعتبار في حالات الترددات العالية (الأدوار القصيرة) حيث نحدد قيمة الدور الستاتيكي من خلال الوسيط (tstat) ليقوم البرنامج بعدها بافتراض أن كافة الأنماط ذات الأدوار الأقل من (tstat) هي أنماط ستاتيكية.

تعتبر القيمة الافتراضية للوسيط (tstat) مساوية للصفر... وهذا يعني أن كافة الأنماط الافتراضية ديناميكية.

يفيد استخدام هذا الوسيط أيضا في التحليل الزمني شبه الستاتيكي (Quasistatic).

ففي الحالات التي لا يصلح فيها استخدام القيم الافتراضية للوسيط (tstat)، فيمكن البدء بالتحليل من خلال استخدام قيم الوسائط التالية، والتي يعالج البرنامج من خلالها كافة أنماط الاهتزاز كأنماط ستاتيكية. ويستخدم طريقة التردد عوضا عن تقيم الخطوات الزمنية.

1 ـ اختيار قيمة الوسيط (tstat) أكبر من قيمة أطول دور للمنشأ.

2 ـ تحديد قيمة الوسيطين ($itmax = itmin > 1$).

3 ـ تحديد قيمة الوسيطين ($dtmax = dtmin = dt$).

4 ـ تحديد قيمة الوسيط ($ftol \leq 10^{6}$).

5 ـ تحديد قيمة الوسيط ($cf = 1$).

2 ـ 5 عناصر الربط اللاخطي The Nllink Element

تتناول هذه الفقرة شرحا موجزا لعناصر الربط اللاخطي حسبما وردت الفصل (XIV) من الملف (SAPREF 1) مع بعض التصرف في الترجمة الحرفية لتوضيح بعض المفاهيم.

2 ـ 5 ـ 1 مقدمة

تستخدم عناصر الربط اللاخطي لنمذجة السلوك اللاخطي الموضعي للمنشآت كالفجوات (Gaps) والمخمدات (Dampers) والعوازل (Isolators) وغيرها من الخصائص المذكورة في الفقرة (2 ـ 5 ـ 11).

وقد ذكرنا سابقا أن نمط التحليل اللاخطي اللحظي يفترض أن سلوك كافة عناصر الربط (Nllink) لاخطيا وسلوك العناصر الأخرى خطيا، ويكون ذلك في حالة الحمولات المتغيرة مع الزمن. إذا أن العناصر (Nllink) قد تسلك سلوكا خطيا تحت الأنواع الأخرى من التحليل.

يمكن أن يتألف عنصر الربط اللاخطي من عقدة واحدة تمثل نابضاً منفرداً مربوطاً بالأرض، أو من عقدتين متصلتين برابط يسمح لهما الاشتراك في نفس الموقع في الفراغ.

2 ـ 5 ـ 2 عناصر الربط اللاخطي عديمة الطول Zero- Length Elements

تعتبر الأنواع التالية من عناصر الربط اللاخطي عديمة الطول (العناصر ذات الطول الصفري Zero- Length Elements):

ـ عنصر الربط اللاخطي المؤلف من عقدة واحدة تمثل نابضاً منفرداً مربوطاً بالأرض.

ـ عنصر الربط اللاخطي المؤلف من عقدتين متصلتين (i , j) تفصل بينهما مسافة أصغر أو تساوي مقدار السماحية (Tolerance) التي نعطيها للوسيط (Zero) والذي يأخذ في البرنامج قيمة افتراضية تساوي (10^{-3})... مع الإشارة إلى أن مقدار السماحية يلعب دوراً هاماً في تدوير وتقريب الحسابات العددية التي يجريها البرنامج لتحديد الخصائص وتوليد إحداثيات العقد.

2 ـ 5 ـ 3 الخصائص الإنشائية اللاخطية لعناصر الربط اللاخطي

Nonlinear Properties (Nllink)

يفترض في البرنامج أن كل عنصر من عناصر الربط اللاخطي يتألف من ستة نوابض أو مخمدات (springs - dashpots) داخلية يمثل كل منها درجة حرية مستقلة (قوة محورية وقوتا قص وعزم فتل وعزما انعطاف). ويجب حين حل المسائل تفعيل درجات التي نريدها الحرية والمشروحة في الفقرات التالية، وذلك بحسب طبيعة المسألة المعطاة.

تسمى الخصائص المتعلقة بدرجات الحرية هذه (Nlprop) وهو اختصار لعبارة (Nonlinear Properties ـ الخصائص اللاخطية)، وهي مشروحة في الفقرة (2 ـ 4 ـ 4 ـ 11).

تتألف هذه الخصائص إضافةً إلى الكتلة (Mass) والوزن (Weight) من ست علاقات لاخطية بين القوة والتشوه، تستخدم في حالة التحليل الزمني اللاخطي فقط (Nonlinear Time-History Analysis) المشروح في الفقرة (2 ـ 4 ـ 5).

ـ علاقة التشوه المحوري (f_{u1} . d_{u1}).

ـ علاقتا تشوه القص ($f_{u2} . d_{u2}$ - $f_{u3} . d_{u3}$).

ـ علاقة تشوه الفتل ($f_{r1} . d_{r1}$).

ـ علاقتا تشوه الانعطاف الصافي ($f_{r2} . d_{r2}$ - $f_{r3} . d_{r3}$).

حيث:

f_{u1} , f_{u2} , f_{u3} ـ القوى الداخلية في النوابض.

F_{r1} , f_{r2} , f_{r3} ـ العزوم الداخلية في النوابض.

وتنشأ عن هذه العلاقات قوى داخلية في عناصر الربط اللاخطي.

يمكن استخدام عناصر الربط اللاخطي لنمذجة أنواع السلوك اللاخطي التالية:

ـ التخامد اللزج المرن Viscoelastic damping

ـ الفجوات الممثلة لحالة الضغط فقط، والخطافات الممثلة لحالة الشد فقط Gap (compression only) and hook (tension only) (**انظر الفقرة 2 ـ 4 ـ 4 ـ 11**).

ـ العزل اللدن باتجاه واحد Uniaxial plasticity

ـ العزل اللدن باتجاهين Biaxial- plasticity base isolator

ـ العزل ذو الاحتكاك النواسي Friction- pendulum base isolator

وقد تم شرح هذه المصطلحات في الفقرة (2 ـ 5 ـ 11) وتوابعها.

2 ـ 5 ـ 4 جملة الإحداثيات المحلية Local Coordinate System

لكل عنصر (Nllink) جملة محاور محلية (1 و 2 و 3) تساعد على تعريف كل من خواص المقطع والحمولات المطبقة وخصائص علاقة القوة ـ التشوه، كما تفيد في قراءة النتائج.

ويمكن تحميل أي عنصر (Nllink) بحمولات الثقالة (gravity) وفي أي اتجاه. وتعطي نتائج التحليل قيم التشوهات على طول العنصر والقوى الداخلية في العقد.

تعتبر اتجاهات المحاور المحلية المذكورة كما يلي:

ـ المحور (1) باتجاه التشوه الطولي.

وفي الوضع الافتراضي للبرنامج يتم توجيه المحور (1) في العناصر وحيدة العقدة أو في العناصر ذات الطول الصفري باتجاه المحور (Z) العام.. أما في العناصر ثنائية العقدة (i , j) فيوجه هذا المحور من (i) إلى (j).

ـ المحور (2) يوجه يدويا حسب تشوهات القص شريطة أن يكون عموديا على المحور (1).

وفي الوضع الافتراضي للبرنامج يكون المحور (2) في العناصر الشاقولية أفقيا وموازيا للمحور (X) العام وفي العناصر الأفقية شاقوليا وموازيا للمحور (Z) العام في العناصر الأفقية.. أي بحسب اتجاه المحور (1).

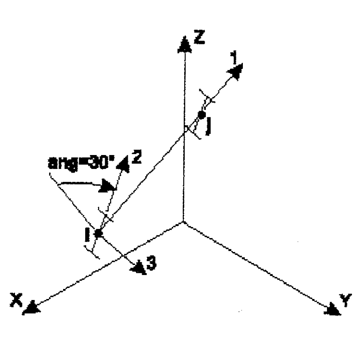
ـ المحور (3) يعامد المحور (2) ويشكل معه مستويا عموديا على المحور (3) بحسب قاعدة اليد اليمنى (انظر الصفحة 8 من الجزء الأول).

وتستخدم الإحداثيات الزاوية (Coordinate Angle) المشروحة في الفقرة (2 ـ 4 ـ 2 ـ 1) لفتل المحورين (2 و 3) عن التوجيه الافتراضي. مع الانتباه إلى أن اتجاه الدوران الموجب حول المحور (1) هو بعكس عقارب الساعة عندما يكون اتجاه المحور المذكور نحو عين القارئ، وذلك كما في الأمثلة الموضحة في الشكل (16).

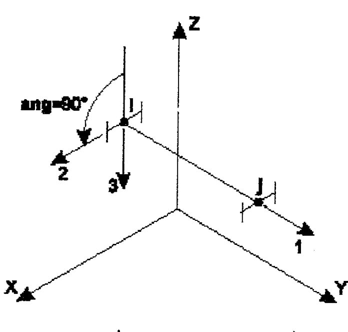
تعرف الخصائص الإنشائية (Nlprop) المذكورة في الفقرة السابقة بالنسبة لجملة الإحداثيات المحلية. حيث تحسب التشوهات المحورية المشروحة في الفقرة (2 ـ 4 ـ 4 ـ 5) أدناه بالنسبة للمحور الطولي (1)، كما تحسب تشوهات الفتل حوله. في حين تحسب تشوهات القص والانعطاف من خلال المحورين (2 و 3).

2 ـ 5 ـ 5 جملة الإحداثيات المتقدمة Advanced Local Coordinate System

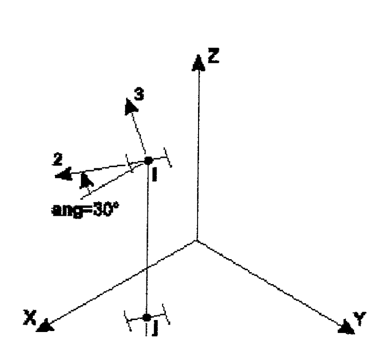
نحتاج في بعض المسائل إلى توصيف أكثر دقة لجملة الإحداثيات المحلية.. فمن أجل توجيه المحورين المحليين (2 و 3) مع زاوية تحريض (ang) لا تساوي الصفر فإن هذه الزاوية تمثل الزاوية التي يدور من خلالها المحوران المذكوران حول المحور (1) انطلاقا من اتجاه شعاع المحور المرجعي (Axis Reference Vector).. انظر الصفحة 207 من الملف المساعد (SAPREF 1).



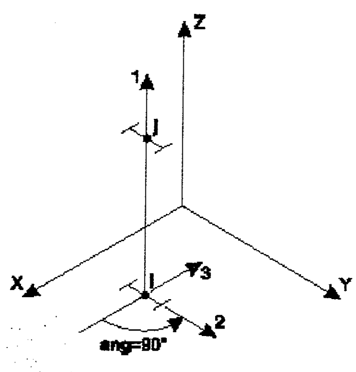
المحور (1) يوازي (X أو Y أو Z). والمحور (2) يدور بزاوية (30 °) انطلاقاً من المستوي (Z - 1).



المحور (1) يوازي (Y). والمحور (2) يدور بزاوية (90 °) انطلاقاً من المستوي (Z - 1).



المحور (1) يوازي (Z). والمحور (2) يدور بزاوية (30 °) انطلاقاً من



المحور (1) يوازي (Z). والمحور (2) يدور بزاوية (90°) انطلاقاً من المستوي (X - 1).

الشكل 16

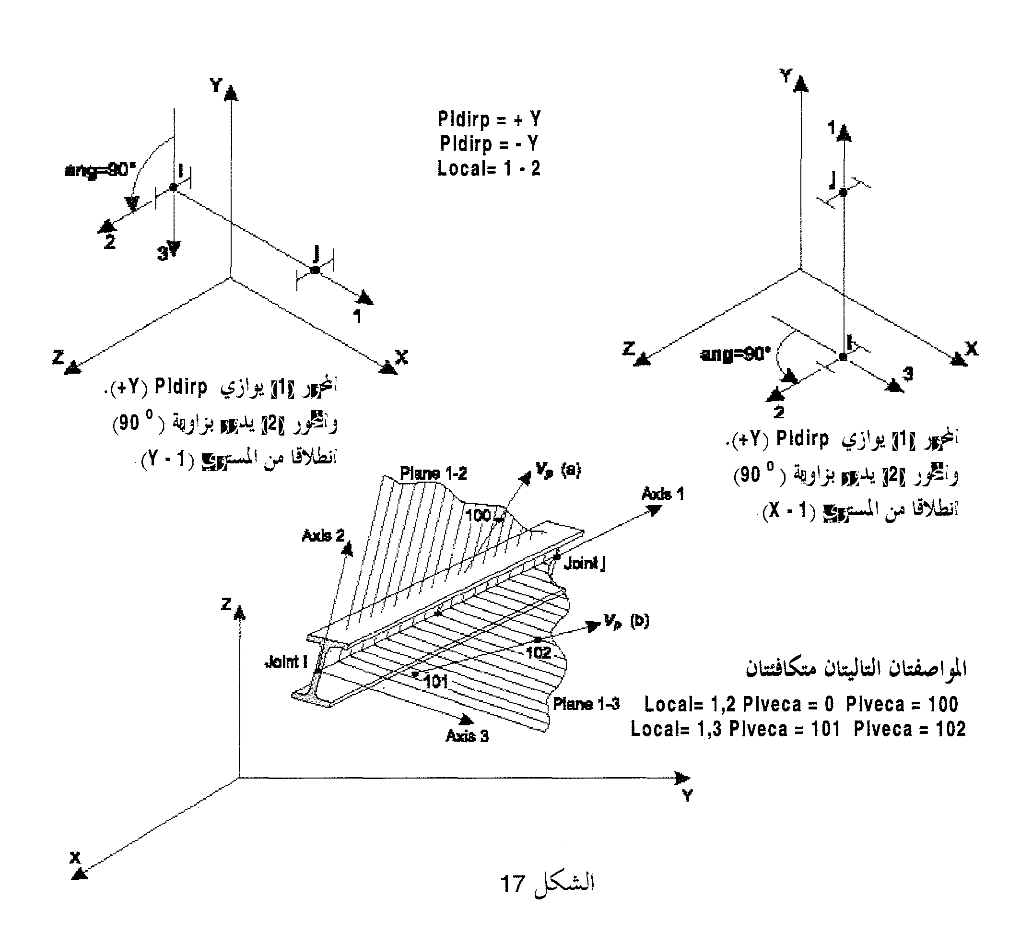
يعرف شعاع المحور المرجعي بأنه المحور الذي يوازي المستوي (2 - 1) بحيث يكون له مسقطا موجبا على المحور (2).. أو الذي يوازي المستوي (3 - 1) بحيث يكون له مسقطا موجبا على المحور (3).. ويمكن استخدام العقد لتعريف الشعاع المرجعي، واستخدام الزاوية (ang) مع الشعاع المذكور لتعريف جملة إحداثيات محلية لأي عنصر إطاري كما في الشكل (17).

2 ـ 5 ـ 6 التشوهات الداخلية Internal Deformations

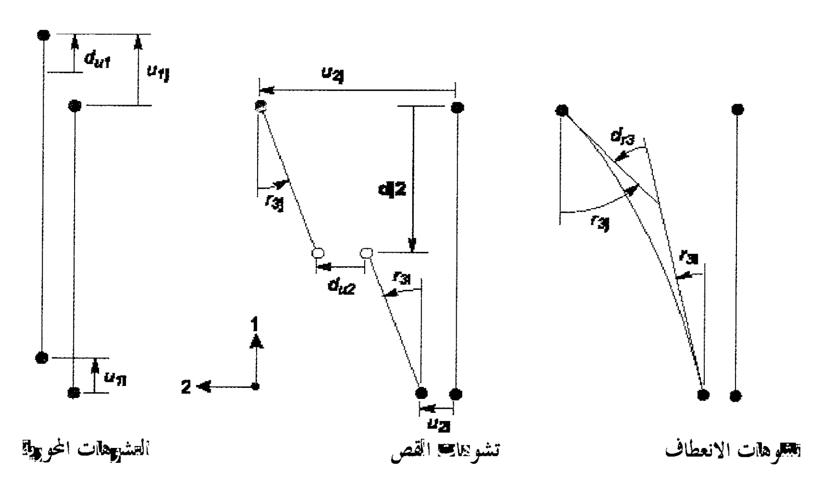
يمتلك كل عنصر (Nllink) ستة تشوهات داخلية مستقلة تحسب من الانتقالات النسبية كما يلي:

- تحسب من انتقالات العقدة للعنصر المؤلف من عقدة واحدة فقط بالنسبة إلى الأرض.
- تحسب من انتقالات العقدة (j) بالنسبة إلى (i) للعنصر المؤلف من عقدتين (i , j).

وتكون التشوهات في العناصر المذكورة كما يلي، مع أخذ التعاريف التالية للمصطلحات (انظر الشكل 18 الذي يبين ثلاثة تشوهات للعنصر Nllink ثنائي العقد).



الشكل 17



الشكل 18 ـ التشوهات الداخلية للعناصر (Nllink) ثنائية العقد.

(u_{1i} , u_{2i} , u_{3i}) انتقالات العقدة (i) في اتجاهات المحاور المحلية (3 , 2 , 1).

(r_{1i} , r_{2i} , r_{3i}) دورانات العقدة (i) في اتجاهات المحاور المحلية (3 , 2 , 1).

(d_{j2}) المسافة بين العقدة (j) ونقطة قياس تشوه القص (d_{u2}). وتعتبر القيمة الافتراضية لها مساوية للصفر (0).

(d_{j3}) المسافة بين العقدة (j) ونقطة قياس تشوه القص (d_{u3}). وتعتبر القيمة الافتراضية لها مساوية للصفر (0).

(L) طول العنصر المدروس.

1 ـ التشوهات الداخلية للعناصر (Nllink) وحيدة العقد:

ـ تشوهات القص في المستوي (2 - 1) $d_{u2} = u_{2j} \quad d_{j2} \cdot r_{3j}$

ـ تشوهات القص في المستوي (3 - 1) $d_{u3} = u_{3j} \quad d_{j3} \cdot r_{2j}$

ـ تشوه الفتل $d_{r1} = r_{1j}$

ـ تشوه الانعطاف البسيط في المستوي (3 - 1) $d_{r2} = - r_{2j}$

ـ تشوه الانعطاف البسيط في المستوي (2 - 1) $d_{r3} = r_{3j}$

2 ـ التشوهات الداخلية للعناصر (Nllink) ثنائية العقد:

وتقاس كما في الحالة السابقة مع إعطاء قيم لا تساوي الصفر لانتقالات ودورانات العقدة (i).

ـ التشوه المحوري $du_1 = u_{1j} \quad u_{1i}$

ـ تشوهات القص في المستوي (2 - 1) $du_2 = u_{2j} \quad u_{2i} - d_{j2} \cdot r_{3j} - (L - d_{j2})\, r_{3i}$

ـ تشوهات القص في المستوي (3 - 1) $du_3 = u_{3j} \quad u_{3i} + d_{j3} \cdot r_{2j} - (L - d_{j3})\, r_{2i}$

ـ تشوه الفتل $dr_1 = r_{1j} \quad r_{1i}$

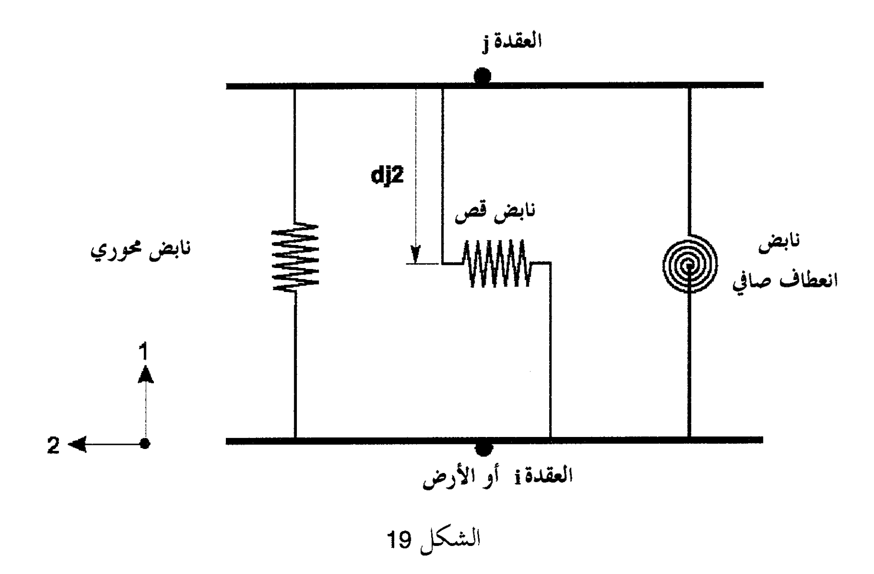
ـ تشوه الانعطاف البسيط في المستوي (3 - 1) $dr_2 = r_{2j} \quad r_{2i}$

ـ تشوه الانعطاف البسيط في المستوي (2 - 1) $dr_3 = r_{3j} \quad r_{3i}$

2 ـ 5 ـ 7 النوابض الداخلية اللاخطية Internal Nonlinear Springs

ذكرنا في الفقرات السابقة أن كل عنصر ربط لاخطي (Nllink) يمتلك ست درجات حرية مستقلة أو مترابطة (Nlprop) تمثلها نوابض ومخمدات.. ولذلك فقد تكون العلاقات بين القوى التشوهات مستقلة أو مترابطة أيضا.

يبين الشكل (19) ثلاثة أنواع من التشوهات في المستوي (2 , 1).



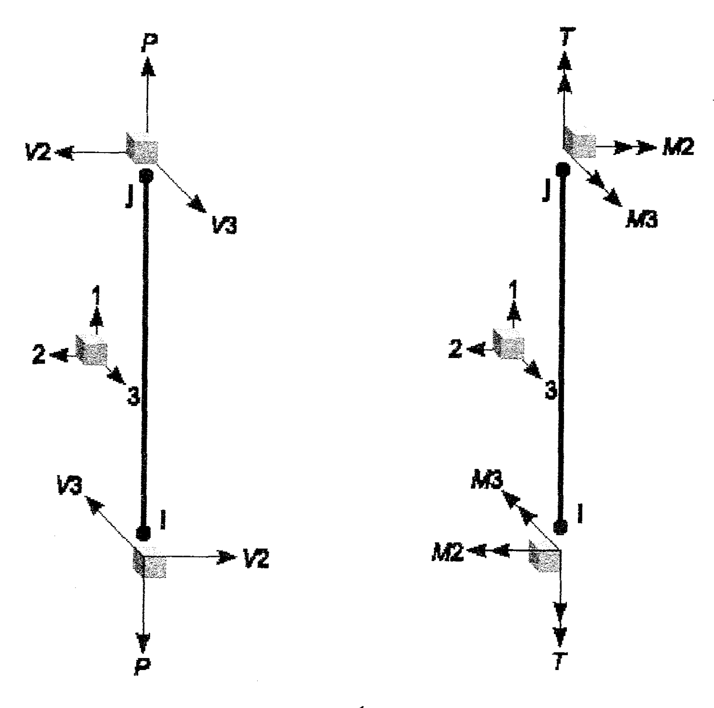
الشكل 19

يلاحظ في هذا الشكل أن نابض القص يقع على مسافة (d_{j2}) من العقدة (j) وافتراض أن كافة تشوهات القص تحدث في هذا النابض. وأن اتصالات النوابض بالعقد أو بالأرض لا متناهية القساوة على القص.

يتشوه نابض القص بسبب انتقالات ودورانات العقد، مما يولد عزما متغيرا بشكل خطي على طول العنصر يضاف إلى العزم الصافي.

2 ـ 5 ـ 8 القوى الداخلية في العناصر (Nllink) Element Internal Forces

تماثل مصطلحات هذه القوى في البرنامج تلك الخاصة بالعناصر الإطارية (الشكل 20):



الشكل 20

1 ـ القوة المحورية $P = f_{u1}$

2 ـ قوة القص في المستوي (1 , 2) $V2 = f_{u2}$ $M3s = (d \quad d_{j2})\, f_{u2}$

3 ـ قوة القص في المستوي (2 , 1) $V2 = f_{u3}$ $M2s = (d \quad d_{j3})\, f_{u3}$

حيث (d) هي المسافة بين العقدة (j) والمقطع العرضي المدروس.

4 ـ عزم الفتل $T = f_{r1}$

5 ـ عزم الانعطاف الصافي في المستوي (2 , 1) $M\,3b = f_{r3}$

6 ـ عزم الانعطاف الصافي في المستوي (3 , 1) $M\,2b = f_{r2}$

وكما ذكرنا في الفقرة السابقة يعتبر العزم الكلي مؤلفا من مجموع العزم الصافي والعزم الناتج عن تشوه القص كما يلي:

$$M\,2 = M\,2s + M\,2b$$

$$M\,3 = M\,3s + M\,3b$$

2 ـ 5 ـ 9 العلاقات الخطية بين القوى والتشوهات

Linear Force- Deformation Relationships

يتم التعبير عن هذه العلاقة بالشكل المصفوفي التالي:

$$\begin{Bmatrix} f_{u1} \\ f_{u2} \\ f_{u3} \\ f_{r1} \\ f_{r2} \\ f_{r3} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{u1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & k_{u2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & k_{u3} & 0 & 0 & 0 \\ & & & k_{r1} & 0 & 0 \\ & sym. & & & k_{r2} & 0 \\ & & & & & k_{r3} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d_{u1} \\ d_{u2} \\ d_{u3} \\ d_{r1} \\ d_{r2} \\ d_{r3} \end{Bmatrix} \qquad (26)$$

حيث [K] مصفوفة القساوة.

وبالعودة إلى المثال المعطى في الصفحة (19) من الجزء الأول نجد بالمقارنة أن العلاقة بين القوى والانتقالات كما يلي:

$$\begin{Bmatrix} P \\ V2 \\ V3 \\ T \\ M2 \\ M3 \end{Bmatrix}_j = \begin{bmatrix} k_{u1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & k_{u2} & 0 & 0 & 0 & -\mathbf{dj2}\, k_{u2} \\ & & k_{u3} & 0 & -\mathbf{dj3}\, k_{u3} & 0 \\ & & & k_{r1} & 0 & 0 \\ & sym. & & & k_{r2} + \mathbf{dj3}^2\, k_{u3} & 0 \\ & & & & & k_{r3} + \mathbf{dj2}^2\, k_{u2} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ r_1 \\ -r_2 \\ r_3 \end{Bmatrix}_j \qquad (27)$$

ـ ملاحظات:

1 ـ تطبق هذه العلاقة أيضا على عنصر بعقدتين (i , j) فيه انتقالات العقدة (i) معدومة.

2 ـ إذا استبدلنا في العلاقات السابقة مصفوفة القساوة بمصفوفة معاملات التخامد، واستبدلنا مصفوفة الانتقالات بمصفوفة السرعات فإننا سنحصل على علاقات مشابهة للتخامد الخطي.

إذا استبدل نابضا القص والانعطاف بكمرة موشورية قساوتها في المستوي (1, 2) هي (E I) فإن مصفوفة قساوة الانعطاف في المستوي المذكور تكتب بالشكل:

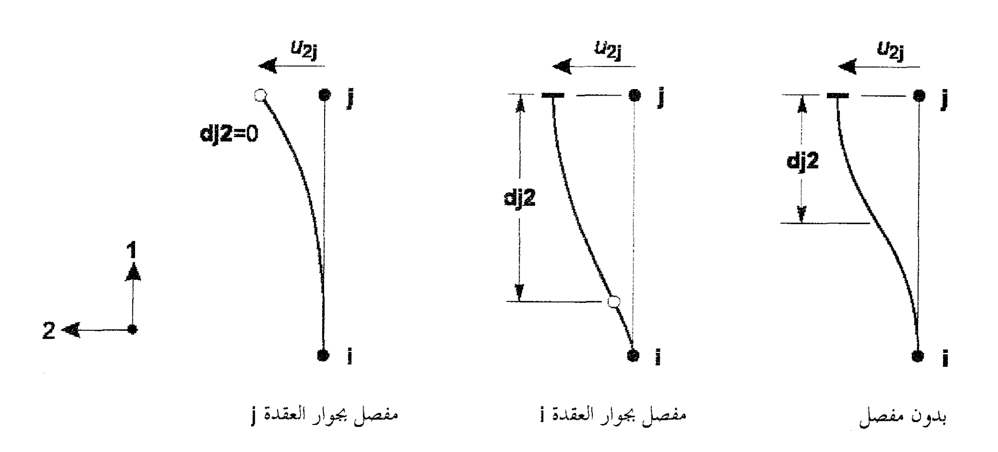
$$\begin{Bmatrix} V2 \\ M3 \end{Bmatrix}_j = \frac{EI}{L^3}\begin{bmatrix} 12 & -6L \\ -6L & 4L^2 \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} u_2 \\ r_3 \end{Bmatrix}_j \qquad (28)$$

وتبين هذه العلاقة ما يلي:

ـ يمتلك النابض المكافئ للقص عند مسافة ($d_{j2} = L/2$) قساوة قدرها $K_{u2} = 12\frac{EI}{L^3}$

ـ يمتلك النابض المكافئ للانعطاف الصافي قساوة قدرها $K_{r3} = \frac{EI}{L}$

ويبين الشكل (21) كيف أن قساوة الانعطاف الصافي معدومة في العناصر المتمفصلة في مستوي الانعطاف (2 , 1)... حيث تكون ($d_{j2} = L$).



الشكل 21 ـ مواقع نوابض القص عند مفاصل العزم أو نقاط الانعطاف
Location of Shear Spring at a Moment Hinge or Point of Inflection

وبعبارة أخرى تستخدم هذه الخاصية لكافة درجات الحرية التي لم تحدد فيها أية خصائص لاخطية أخرى. ولا تستخدم بصورة مباشرة من أجل درجات الحرية اللاخطية خلال التحليل الزمني اللاخطي، والذي يستخدم أنماط الاهتزاز المحسوبة بالاعتماد على القساوة الفعالة. حيث يعدل من سلوك هذه الأنماط لتمثل الاستجابة الفعلية للمنشأ.

تعطى علاقات (القوة ـ التشوه) الفعالة من أجل الخصائص (Nlprop) من العلاقة (26) بعد استبدال مصفوفة القساوة $[K_u , K_r]$ بمصفوفة القساوة الخطية الفعالة $[K_e]$.

يعطي دليل البرنامج النصائح التالية لاختيار القساوة الفعالة:

1 ـ عند اختيار التحليل وفق كود البناء الموحد (UBC 94) فيجب أن تمثل القساوة الفعالة العظمى المعرفة في هذا الكود.

2 ـ في عناصر الربط اللاخطي من نوع الفجوات (Gaps) والخطافات (Hooks)، تعتبر قيمة القساوة الفعالة معدومة أو مساوية للقساوة الخطية (K) وذلك حسب كون العنصر مفتوحا أو مغلقا أثناء العمل.

وتعبر القساوة الخطية المذكورة عن حالات التخامد السريع أو حالة الفجوات (Gaps) والخطافات المغلقة (Hooks) أو عن حالة غياب السيلان أو عن انزلاق العوازل (Isolator) والمشروحة بوضوح في أدناه.

3 ـ تعتبر قيمة القساوة الفعالة معدومة في العناصر المخمدة (انظر الفقرة 2 ـ 4 ـ 2 ـ 3).

4 ـ تحدد قيمة القساوة الفعالة بين (0) و (K) في بقية العناصر.

يشار هنا إلى أنه إذا كانت (k = 0) فلا يمكن توليد قوى لا خطية إلا في حالة العازل من نوع (Isolator 2).

5 ـ يجب التأكد عند القيام بالتحليل الزمنية من أن قيمة القساوة الفعالة (K_e) أقل بكثير من قيمة (K)، وذلك حين اختيار قيمة كبيرة لـ (K).

2 ـ 5 ـ 10 التخامد الخطي الفعال Linear Effective Damping

يعرف التخامد الخطي الفعال بأنه التخامد اللزج الكلي (Total Viscous Damping) لعنصر الربط (Nllink).

يستخدم هذا التخامد في تحليل طيف الاستجابة والتحليل الخطي الدوري والتحاليل الزمنية حيث تهمل الخصائص اللاخطية في هذه التحاليل. كما يستخدم في تمثيل تبديد الطاقة (Energy Dissipation) الناتجة عن التخامد اللاخطي أو عن اللدونة أو عن الاحتكاك.

باعتبار أن لكل عنصر من عناصر الربط اللاخطي ستة نوابض أو مخمدات (springs - dashpots) داخلية يمثل كل منها درجة حرية مستقلة، فيكمن تحديد ستة معاملات خطية للتخامد الفعال (ce). مع العلم بأن القيم الافتراضية لهذه المعاملات في البرنامج تساوي الصفر.

تعطى علاقات (القوة ـ التشوه) الفعالة من أجل الخصائص (Nlprop) من العلاقة (26) بعد استبدال مصفوفة القساوة $[K_u , K_r]$ بمصفوفة معاملات التخامد الخطية الفعالة [ce]، واستبدال التشوهات بالتشوهات المقابلة أو الموافقة.

يحول البرنامج قيم التخامد الفعال إلى نسب مئوية لتخامد الأنماط، يمكن أن تضاف إلى تخامد الأنماط المحدد مباشرة من المستثمر على ألا تزيد النسبة الكلية عن (0.99995).

ـ ملاحظات حول الفقرتين السابقتين:

1 ـ يمكن استخدام خصائص القساوة الفعالة والتخامد الفعال في حالات التحليل التالية والتي سبق شرحها:

التحليل الستاتيكي ، تحليل (P - Δ) ، تحليل الحالة الثابتة ، التحليل النمطي ، تحليل طيف الاستجابة ، التحليل الزمني الخطي.

2 ـ لا يستخدم التخامد الفعال في التحليل الزمني اللاخطي باعتباره يأخذ تأثيرات تبديد الطاقة بشكل مباشر، إضافة إلى تأثيرات أنماط الاهتزاز المشتركة.

3 ـ ينصح باستخدام التحليل الزمني اللاخطي من أجل تعيين تأثير تبديد الطاقة في المنشآت المجهزة بأدوات الإخماد، لأن التحليل الخطي قد يبالغ في النتائج المتعلقة بالتخامد الفعال.

2 ـ 5 ـ 11 الخصائص اللاخطية (Nlprop) Nonlinear Properties

ذكرنا في الفقرات السابقة أن لكل عنصر (Nllink) ست درجات حرية مستقلة (Nlprop) قد تكون العلاقات بين القوى التشوهات فيها مستقلة أو مترابطة.

يحدد نوع المسألة المطلوب تحليلها أنواع العلاقات اللاخطية بين القوى والتشوهات في درجات الحرية المذكورة. إضافة إلى الخصائص اللاخطية من أجل كل (Nlprop)، والتي ينبغي أن يكون أي منها من أحد الأنواع الستة التالية:

2 ـ 5 ـ 11 ـ 1 المخمدات Dampers

تحدد خصائص المخمدات في البرنامج من خلال نموذج ماكسويل اللزج المرن (Maxwell model Of Viscoelasticity) الموضح في الشكل (22)، والمؤلف من مخمد لاخطي موصول على التسلسل مع نابض. ويكون التشوه الكلي في النموذج:

$$d = d_K + d_C \qquad (29)$$

حيث تعطى علاقة القوة (f) والتشوه اللاخطي (d) بالمعادلة التالية:

$$f = K \cdot d_K = C\, d_C^{cexp} \qquad (30)$$

(K) ـ ثابت مرونة النابض.

(d_K) ـ تشوه النابض.

(C) ـ معامل التخامد.

(d_C) ـ تشوه المخمد.

(cexp) ـ أس التشوه النسبي في المخمد والذي يجب أن يتراوح بين (0.2 إلى 2).

j
مخمد c
k
i

الشكل 22
نموذج ماكسويل
للتخامد اللزج المرن.

ـ ملاحظات:

1 ـ عند الحاجة لتمثيل تخامد صافي فيجب إهمال مساهمة النابض بإعطاء (K) قيمة كبيرة بشكل كاف. وينصح عند الحاجة لتخفيف التشوهات المرنة في نابض المخمد باستخدام قيمة للثابت (K) تتراوح بين (10000 - 100) مرة من قساوة أي عنصر متصل بالعقدة.. ويحذر من اختيار قيمة كبيرة جدا قد تسبب أخطاء عددية في نتائج الحل أو تمنع التحليل من الاكتمال.

2 ـ إذا لم نقم بتحديد خصائص لاخطية من أجل درجة حرية معينة، فإن هذه الدرجة تعتبر خطية، حيث يستخدم البرنامج القساوة الفعالة التي قد تكون معدومة.

2 ـ 5 ـ 11 ـ 2 الفجوات Gaps

يبين الشكل (23) التمثيل الفيزيائي للفجوات العاملة في **حالة الضغط فقط.** مع الإشارة إلى أن فتح الفجوة أو إغلاقها لا يؤثر على التشوهات الأخرى. فجميع التشوهات الداخلية مستقلة عن بعضها البعض.

تعطى علاقة القوة (f) والتشوه اللاخطي (d) في نموذج الفجوات المبين جانبا كما يلي:

ـ إذا كان $(d + Open < 0)$ يكون $f = K(d + Open)$ (31)

ـ إذا كان $(d + Open \geq 0)$ يكون $f = 0$ (32)

الشكل 23
تمثيل الفجوات

حيث:

(K) ـ ثابت مرونة النابض.

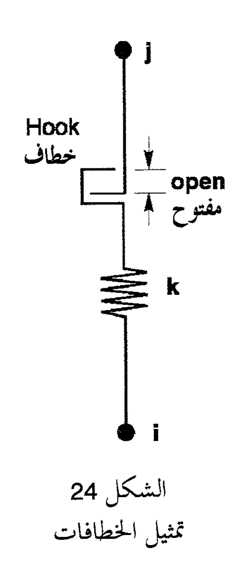
(Open) ـ الفتحة الابتدائية للفجوة (يجب أن تكون صفر أو موجبة).

ـ ملاحظات:

1 ـ عند الحاجة لتمثيل تخامد صافي فيجب إهمال مساهمة النابض بإعطاء (K) قيمة كبيرة بشكل كاف. وينصح عند الحاجة لتخفيف التشوهات المرنة في نابض الفجوة باستخدام قيمة للثابت (K) تتراوح بين (10000 - 100) مرة من قساوة أي عنصر متصل بالعقدة.. ويحذر من اختيار قيمة كبيرة جدا قد تولد أخطاء عددية في نتائج الحل أو تمنع التحليل من الاكتمال.

2 ـ إذا لم نقم بتحديد خصائص لاخطية من أجل درجة حرية معينة، فإن هذه الدرجة تعتبر خطية، حيث يستخدم البرنامج القساوة الفعالة التي قد تكون معدومة.

2 ـ 5 ـ 11 ـ 3 الخطافات Hooks



الشكل 24
تمثيل الخطافات

يبين الشكل (24) التمثيل الفيزيائي للخطافات العاملة في **حالة الشد فقط** والمماثلة للفجوات. مع الإشارة إلى أن فتح الخطاف أو إغلاقه لا يؤثر على التشوهات الأخرى، فجميع التشوهات الداخلية أيضا مستقلة عن بعضها البعض.

تعطى علاقة القوة (f) والتشوه اللاخطي (d) في نموذج الخطافات المبين جانبا كما يلي:

ـ إذا كان $(d - Open > 0)$ يكون $f = K(d - Open)$ (33)

ـ إذا كان $(d - Open \leq 0)$ يكون $f = 0$ (34)

حيث:

(K) ـ ثابت مرونة النابض.

(Open) ـ الفتحة الابتدائية للخطاف (يجب أن تكون صفر أو موجبة).

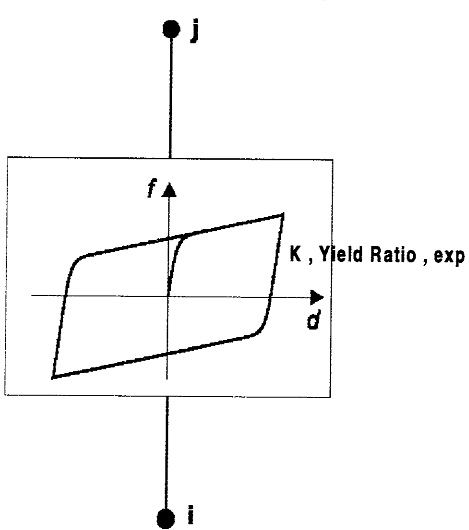
ـ ملاحظة:

يتم العمل بالملاحظتين المذكورتين في البندين السابقين.

2 ـ 5 ـ 11 ـ 4 العازل اللدن باتجاه واحد (Plastic 1) Uniaxial plasticity

يبين الشكل (25) التمثيل الفيزيائي للعوازل اللدنة وحدية المحور، والتي تستقل درجات الحرية فيها عن بعضها البعض. فالسيلان الناتج عن أية درجة حرية لا يؤثر على درجات الحرية الأخرى.

يعتمد البرنامج في تمثيل هذه العناصر اللاخطية على السلوك التراجعي (Hysteretic Behavior) المقترح من قبل (WEN 1976)... انظر الفقرتين (1 ـ 2 ـ 3 ـ 2) و (1 ـ 2 ـ 3 ـ 3) في الفصل الأول من أجل توضيح مفهوم السلوك التراجعي.



الشكل 25
تمثيل العوازل اللدنة وحيدة المحور وفق نموذج WEN

تعطى علاقة القوة (f) والتشوه اللاخطي (d) في نموذج العوازل المذكور كما يلي:

$$f = Ratio . k . d + (1 \quad Ratio) Yield . z \qquad (35)$$

حيث:

(K) ـ ثابت مرونة النابض.

(Ratio) ـ نسبة قساوة العازل بعد السيلان إلى قساوته المرنة (K) قبل السيلان.

(Yield) ـ القوة المسببة للسيلان.

(z) ـ متحول داخلي تراجعي أقل أو يساوي الواحد (قيمته الابتدائية مساوية للصفر).

ويمثل $|z| = 1$ سطح السيلان وفق المعادلتين التاليتين:

ـ إذا كان $(d \cdot z > 0)$ يكون

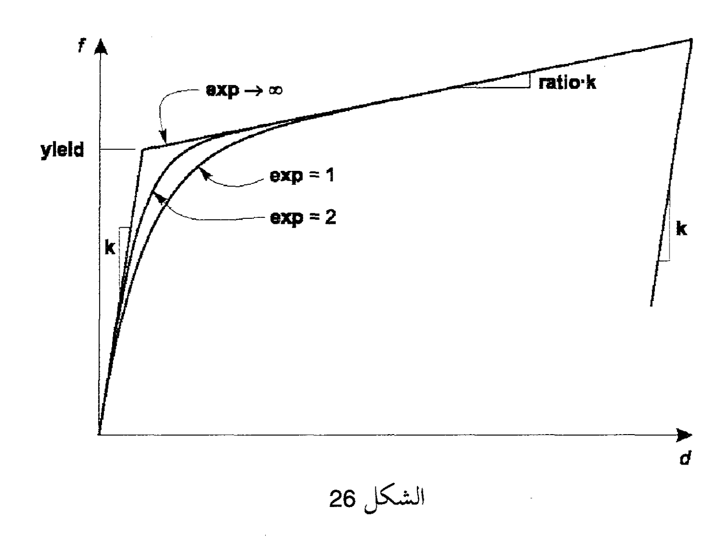
$$z = \frac{k}{Tield} d\left(1 - |z|^{exp}\right) \quad (36)$$

ـ إذا كان $(d \cdot z \leq 0)$ يكون

$$z = \frac{k}{Tield} d \quad (37)$$

حيث:

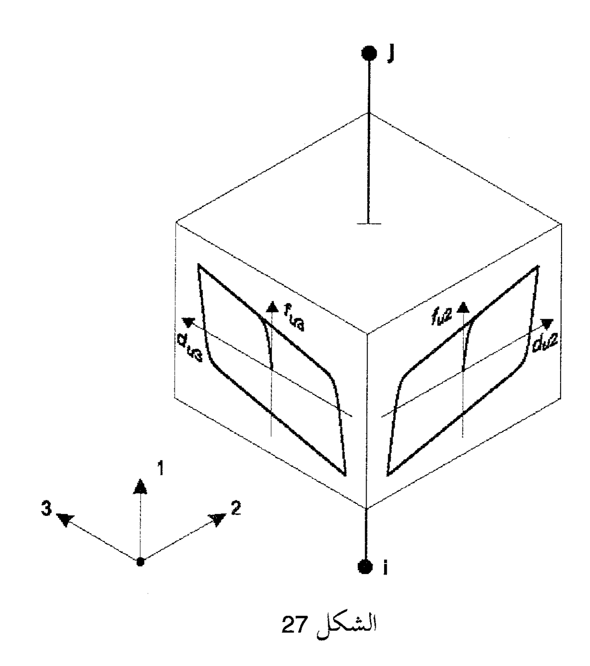
$(1 \leq exp < 20)$ ـ الأس العددي للمعادلة. وتزداد قيمة السيلان مع زيادة قيمة (exp) كما في الشكل (26). حيث تبدأ الزاوية الحادة عند نقطة السيلان عندما $(exp \to \infty)$.



الشكل 26

2 ـ 5 ـ 11 ـ 5 العازل من النوع 1 Isolator 1

يعرف هذا النوع بأنه عازل لدن باتجاهين (أو ثنائي المحور)، ويمكن تمثيله من خلال النموذج المبين في الشكل (27).



الشكل 27

ترتبط خصائص اللدونة المتعلقة بتشوهات القص في هذا النوع في الاتجاهين.. كما ترتبط خصائص القساوة الفعالة الخطية المتعلقة بالتشوهات الأربعة الأخرى.

يمكن إعطاء تشوه قص لكل درجة حرية مستقلة من أجل السلوك الخطي أو اللاخطي.. ففي الحالة الأخيرة تكون علاقة القوة بالتشوهات كما يلي:

$$f_{u2} = ratio2 \, . \, K2 \, . \, du2 + (1 - ratio2) \, yield2 \, . \, Z2 \qquad (38)$$

$$f_{u3} = ratio3 \, . \, K3 \, . \, du3 + (1 \quad ratio3) \, yield3 \, . \, Z3 \qquad (39)$$

حيث:

(K2 , K3) ـ ثابتا المرونة للنابضين.

(ratio2 , ratio3) ـ نسبتا قساوتي العازل بعد السيلان إلى قساوتيه المرنة (K2 , K3) قبل السيلان.

(yield2 , yield3) ـ القوتان المسببتان للسيلان.

(Z2 , Z3) ـ متحولان داخليان يمثلان سطح السيلان من خلال المعادلة $\sqrt{Z_2^2 + Z_3^2} = 1$

وتفترض القيمة الابتدائية لكل منهما مساوية للصفر. ويحسبان من العلاقتين التاليتين:

$$\begin{Bmatrix} Z_2 \\ Z3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - a2\ Z_2^2 & -a3\ Z2\ Z3 \\ -a2\ Z2\ Z3 & 1 - a3\ Z_3^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dfrac{K2}{yield\ 2} d_{u2} \\ \dfrac{K3}{yield\ 3} d_{u3} \end{Bmatrix}$$

حيث:

- $(a2 = 1)$ إذا كان $(d_{u2} . Z2 > 0)$.
- $(a2 = 0)$ إذا كان $(d_{u2} . Z2 \leq 0)$.
- $(a3 = 1)$ إذا كان $(d_{u3} . Z3 > 0)$.
- $(a3 = 0)$ إذا كان $(d_{u3} . Z3 \leq 0)$.

ـ ملاحظات:

1 ـ في الحالة التي يكون فيها أحد التشوهات لدرجات الحرية فقط لاخطيا فستؤول المعادلات السابقة إلى معادلات السلوك الخاصة بالعازل اللدن وحيد الاتجاه والمعرف في البند السابق مع اعتبار (exp = 2).

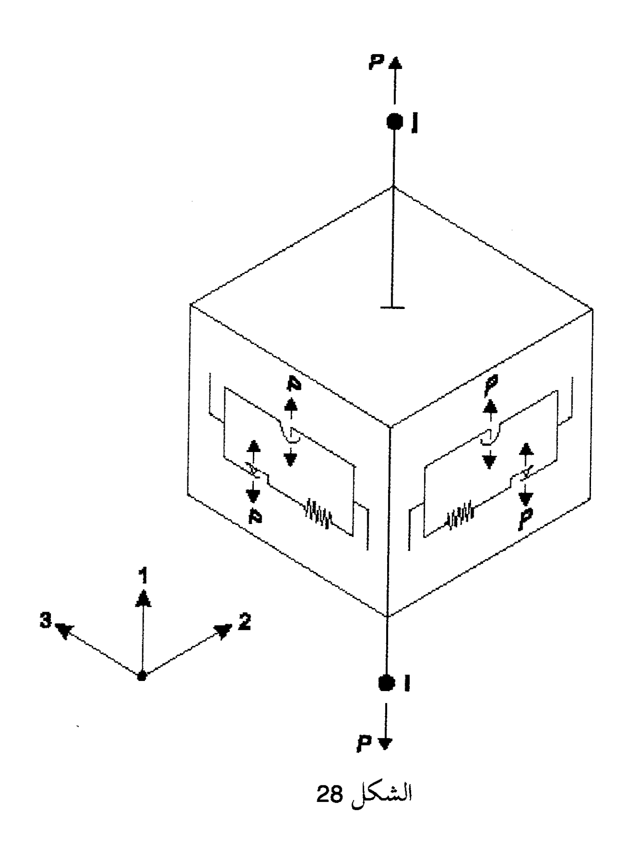
2 ـ إذا لم نقم بتحديد خصائص لاخطية من أجل درجة حرية معينة، فإن هذه الدرجة تعتبر خطية، حيث يستخدم البرنامج القساوة الفعالة التي قد تكون معدومة.

2 ـ 5 ـ 11 ـ 6 العازل من النوع 2 Isolator 2

يعرف هذا النوع بأنه عازل احتكاك نواسي ثنائي المحور (Biaxial friction- pendulum isolator) ويمكن تمثيله من خلال النموذج المبين في الشكل (28).

وترتبط خصائص اللدونة المتعلقة بكل من قساوة الانزلاق في اتجاهي القص وتشوهات القص في الاتجاهين (من خلال نصف قطر نوسان السطوح المنـزلقة المعرف أدناه) مع كل من سلوك الفجوة في الاتجاه المحوري وخصائص القساوة الفعالة الخطية لتشوهات العزوم في الاتجاهات الثلاثة.

1 ـ تعتبر القوة المحورية لاخطية دوما، شريطة أن تكون القساوة موجبة دوما لتوليد هذه القوة والتي تحسب بالشكل التالي:



الشكل 28

- $(P = f_{u1} = K_1 . d_{u1})$ إذا كان $(d_{u1} < 0)$.
- $(P = 0 . d_{u1})$ إذا كان $(d_{u1} \geq 0)$.

2 ـ يمكن تحديد تشوهات القص بشكل خطي أو لاخطي. ففي الحالة الأخيرة تكون القوة الكلية في العازل مؤلفة من مجموع قوة الاحتكاك (Friction force) (f_{u2f})، وقوة النوسان (Pendulum force) (f_{u2P}):

$$f_{u2} = f_{u2f} + f_{u2P} = - P . \mu_{u2} . z_2 + f_{u2P} \quad (40)$$

$$f_{u3} = f_{u3f} + f_{u3P} = - P . \mu_{u3} . z_3 + f_{u3P} \quad (41)$$

حيث:

(μ_2 , μ_3) معاملا الاحتكاك.. ويتعلقان بسرعة الانزلاق (Sliding) وفقا لما يلي:

$$\mu_2 = fast_2 \quad (fast_2 - slow_2)\ e^{\ rv} \tag{42}$$

$$\mu_3 = fast_3 \quad (fast_3 - slow_3)\ e^{\ rv} \tag{43}$$

($slow_2$, $slow_3$) معاملا الاحتكاك عند سرعة انزلاق مساوية للصفر.

($fast_2$, $fast_3$) معاملا الاحتكاك عند سرعة انزلاق كبيرة.

(v) سرعة الانزلاق المحددة بالعلاقة:

$$v = \sqrt{d_{u2}^{2} + d_{u3}^{3}}$$

(r) معامل محدد بالعلاقة:

$$r = \frac{rate_2\ d_{u2}^{2} + rate_3\ d_{u3}^{2}}{v^{2}}$$

($rate_2$, $rate_3$) مقلوب سرعة الانزلاق.

(Z2 , Z3) ـ متحولان داخليان $\sqrt{Z_2^2 + Z_3^2} \le 1$ يمثلان سطح السيلان من خلال المعادلة $\sqrt{Z_2^2 + Z_3^2} = 1$ وتفترض القيمة الابتدائية لكل منهما مساوية للصفر. ويحسبان من العلاقتين التاليتين:

$$\begin{Bmatrix} Z_2 \\ Z3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - a2\ Z_2^2 & -a3\ Z2\ Z3 \\ -a2\ Z2\ Z3 & 1 - a3\ Z_3^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{K2}{P\ \mu 2} d_{u2} \\ \frac{K3}{P\ \mu 3} d_{u3} \end{Bmatrix}$$

- (a2 = 1) إذا كان ($d_{u2} . Z2 > 0$).
- (a2 = 0) إذا كان ($d_{u2} . Z2 \le 0$).
- (a3 = 1) إذا كان ($d_{u3} . Z3 > 0$).
- (a3 = 0) إذا كان ($d_{u3} . Z3 \le 0$).

(K 2 , K 3) قساوتا القص المرن في حال عدم وجود انزلاق (Sliding).

تحدد علاقة قوى النوسان (f_{u2P} , f_{u3P}) بالتشوهات (d_{u2}) بالشكل التالي:

$$f_{2uP} = -P\frac{d_{2u}}{radius\ 2} \qquad f_{3uP} = -P\frac{d_{3u}}{radius}$$

حيث (radius) نصف قطر النوسان المذكور في بداية هذه الفقرة.

1 ـ ملاحظات:

في الحالة التي يكون فيها أحد التشوهات لدرجات الحرية فقط لاخطيا فستؤول المعادلات السابقة إلى ما يلي:

$$f_f = - P u z$$

$$\mu = fast \quad (fast - slow)\, e^{-rate\,.\,d}$$

$$Z = \frac{K}{P\,\mu}\begin{bmatrix} d\,(1 + Z^2) & if & d\,.\,.\,Z > 0 \\ d & if & d\,.\,.\,Z \le 0 \end{bmatrix}$$

2 ـ إذا لم نقم بتحديد خصائص لاخطية من أجل درجة حرية معينة، فإن هذه الدرجة تعتبر خطية، حيث يستخدم البرنامج القساوة الفعالة التي قد تكون معدومة.

2 ـ 6 معلومات مساعدة في التحليل الديناميكي

2 ـ 6 ـ 1 الكتل Masses

تستخدم كتل العناصر الإنشائية لحساب قوى أو حمولات العطالة المشروحة في الفقرة (2 ـ 6 ـ 2) والتي تدخل في التحليل الديناميكي. حيث يقوم البرنامج آليا بحساب هذه الكتل من جداء حجم العنصر المحسوب من أبعاده، بالكتلة الحجمية لمادته (W / g) واللذان يحددان من قائمة (Define) في بداية المسألة.

ومن ثم يجري تجميع الكتل في العقد مع اعتبار أن قيم الكتلة من أجل الحركات الانسحابية في الاتجاهات الثلاثة متساويا... أما من أجل الحركات الدورانية فتضاف للعقد عزوم العطالات المناسبة ($W L^2 / g$).. حيث (W) وزن العنصر و (L) طوله و (g) الجاذبية الأرضية.

ويعتبر الهدف من تركيز الكتل في العقد هو الربط بين الكتل التي ينسب أي منها إلى جملة الإحداثيات المحلية الخاصة بها مع الإشارة إلى أن البرنامج يهمل قيم الكتل في العقد المقيدة.

وبافتراض أن:

(u , r) ـ قيم الكتل المولدة.

(``u) ـ التسارعات الانسحابية للعقد.

(``r) ـ التسارعات الدورانية للعقد.

تعطى قوى العطالة والمشروحة في الفقرة (2 ـ 6 ـ 2) في جملة الإحداثيات المحلية والتي تقاوم التسارعات الانسحابية والدورانية بالعلاقة المصفوفية التالية:

$$\begin{Bmatrix} F1 \\ F2 \\ F3 \\ M1 \\ M2 \\ M3 \end{Bmatrix} = - \begin{bmatrix} u1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & u2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & u3 & 0 & 0 & 0 \\ & & & r1 & 0 & 0 \\ & sym. & & & r2 & 0 \\ & & & & & r3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u``_1 \\ u``_2 \\ u``_3 \\ r``_1 \\ r``_2 \\ r``_3 \end{Bmatrix}$$

ينصح دليل البرنامج باعتماد جملة الإحداثيات المحلية للعقد بحيث توازي محاورها اتجاهات العطالة الرئيسية فيها، لأنه في الحالة التي تكون فيها المحاور المحلية للعقدة غير موازية للمحاور العامة تكون قيم الكتل المتعلقة بالدورانات أو بالانسحابات غير متساوية. الأمر الذي يخفض من دقة نتائج الحل.

يبين الشكل (29) العلاقات الرياضية الخاصة بحساب عزوم عطالات الكتل لبعض المقاطع المستوية.

يعطي البرنامج في ملف إخراجات الكتل العقدية (Joint Mass Output) القيم المجمعة أو المركزة في كل عقدة تحت عنوان (Assembled Joint Masses).. **وتشتمل قيم الكتل المعطاة لأية عقدة على الكتلة المخصصة في العقدة بشكل مباشر مضافا لها مساهمات كتل العناصر الملتقية بها والتي يقوم البرنامج بتوزيع مساهماتها على هذه العقد. وتعطى الكتل المقيدة قيما صفرية حتى ولو كانت لها قيمة مغايرة لذلك.**

يحتوي ملف الإخراج المذكور على سطر بعنوان (الكتل الكلية غير المقيدة ومواقعها ـ Total Unrestrained Mass And Locating)، وينضوي تحت هذا السطر القيم المذكورة (M_X , M_Y , M_Z) في اتجاهات المحاور الرئيسية.

العلاقة cm مركز الكتلة	عزم العطالة حول محور عمودي على المقطع ويمر من مركز الثقل.	شكل المقطع
$MMI_{cm} = \frac{M(b^2 + d^2)}{12}$	**مقطع مستطيل** توزع الكتلة على واحدة المساحة منتظما. الكتلة - (M = W / g).	b, d, c.m.
$MMI_{cm} = \frac{M(I_X + I_Y)}{A}$	**مقطع مثلث** توزع الكتلة على واحدة المساحة منتظما. الكتلة (M = W / g)	Y, X, c.m.
$MMI_{cm} = \frac{M(d^2)}{8}$	**مقطع دائرة** توزع الكتلة على واحدة المساحة منتظما. الكتلة - (M = W / g).	d, c.m.
$MMI_{cm} = \frac{M(I_X + I_Y)}{A}$	**مقطع عام** توزع الكتلة على واحدة المساحة منتظما. الكتلة (M = W / g) (A) - مساحة المقطع. (I x) عزم العطالة حول المحور (X) (I y) - عزم العطالة حول المحور (Y).	Y, X, c.m.
$MMI_{cm} = \frac{M(d^2)}{12}$	**عنصر كتلي خطي** توزع الكتلة على واحدة المساحة منتظما. الكتلة - (M = W / g)	d, c.m.
$MMI_{cm} = MMI_0 + MD^2$	**نقل محاور الكتلة** تعتبر (MMI0 = 0) من أجل الكتلة النقطية	D, o, c.m.

الشكل (29)

ويشار هنا إلى هذه القيم تكون عادة مختلفة عن بعضها حتى ولو خصصت العقد بكتل متساوية، لأن قيود الانسحاب المطبقة على هذه العقد لا تستدعي التساوي.

2 ـ 6 ـ 2 حمولات أو قوى العطالة Inertial Loads

تعتبر القوى والحمولات التي تؤثر مباشرة على العقد أو على العناصر المتصلة بهذه العقد هي:

القوى العقدية (Nodal Forces) ـ الوزن الذاتي (Self- Weight) ـ قوى الثقالة (Gravity) ـ الحمولات الحرارية (Temperature Loads) ـ القوى المركز على العناصر الخطية (Concentrated Span Loads) ـ القوى الموزعة على العناصر الخطية (Distributed Span Loads) ـ حمولات سبق الإجهاد (Prestess Loads) ـ الحمولات الموزعة بانتظام على السطوح (Uniform Loads) ـ حمولات الضغط على السطوح حمولات التسرب المسامي (Pore Pressure Loads) ـ حمولات الدوران (Rotate Loads) ـ تأثير هبوط المساند وانتقالات العقد والقوى النابضية.

ويعطي البرنامج في ملف الإخراج كافة هذه القوى تحت عنوان (الحمولات المطبقة Applied Loads) وذلك في العقد ذات قيم القوى أو العزوم غير المعدومة فقط .... **وتعتبر الحمولات المطبقة في حالتي التحليل الطيفي والتحليل النمطي مساوية للصفر.**

تعرف حمولات العطالة بأنها قوى (وعزوم) دالامبير التي تعمل على مقاومة التسارعات الانسحابية والدورانية.

1 ـ قوى العطالة الانسحابية:

يعطى مقدار التسارع الانسحابي لعقدة (i) من أجل نمط معين للاهتزاز بالعلاقة ($-\omega^2 . u$) حيث (ω) نبض الحركة و (u) انتقال العقدة.

وبالتالي تكون قوة العطالة الانسحابية للعقدة المدروسة:

$$F_1 = \omega^2 . u_i . m_{ui} \qquad (44)$$

(m_i) ـ الكتلة المسندة للعقدة باتجاه درجة حرية الانتقال.

2 ـ عزوم العطالة الدورانية:

يعطى عزم العطالة الدوراني لعقدة (i) من أجل نمط معين للاهتزاز تواتره (ω):

$$M_1 = \omega^2 . r_i . m_{ui} \qquad (45)$$

(r_i) ـ دوران العقدة.

(m_i) ـ عزم العطالة المسند للعقدة باتجاه درجة حرية الدوران.

2 ـ 6 ـ 3 حمولات التسارع Acceleration Loads

يقوم البرنامج بحساب ثلاث حمولات تسارع (m_X , m_Y , m_Z) لكل عقدة ولكل عنصر في اتجاهات المحاور العامة. ثم يطبقها على المنشأ لاستخدامها كوسيلة لتطبيق تسارعات الحركات الأرضية في طرق التحاليل الطيفية أو الزمنية. حيث يتم بعد ذلك تجميعها لكامل المنشأ.

تعتبر حمولات التسارع متماثلة في كافة العناصر (ما عدا العناصر Asolid) وفي كافة الاتجاهات. ويمكن نقلها إلى جملة إحداثية بديلة موازية للجملة العامة حيث يرمز لها بالرموز (U_X , U_Y , U_Z) أو محلية حيث يرمز لها بـ (U_1 , U_2 , U_3).

2 ـ 6 ـ 4 منظومات الربط في المنشآت

نكرر في الفقرة التالية ما ورد في الفقرة (2 ـ 4) من الجزء التالي نظرا لأهمية هذا الموضوع ولتسهيل العودة إليه حين الحاجة.

تستخدم منظومات الربط بين بعض عقد المنشأ للأهداف التالية:

أولا ـ لتمثيل سلوك المنشأ كهيكل صلب متماسك في الحركات الانسحابية أو الدورانية بحيث تتعرض العقد فيه إلى انتقالات أو دورانات متساوية باتجاه محدد وعند منسوب معين.

ثانيا ـ تطبيق شروط خاصة بالتناظر أو التناظر العكسي حول نقطة أو محور أو مستوي أو تناظر دوراني.

ثالثا ـ الربط بين عدة أجزاء من المنشأ تمت نمذجتها في المسألة بشكل مستقل.

يتم تعريف الروابط التالية بالنسبة لجملة إحداثيات آلية يولدها البرنامج تلقائيا بالاستناد إلى مواضع العقد المختارة بغية إنشاء الربط بينها.

للمزيد من المعلومات التفصيلية انظر (الفصل VI من الملف SAPBASIC والفصل VII من الملف SAPREF1 في الدليل الإرشادي المرفق بالبرنامج MANUAL).

2 ـ 6 ـ 4 ـ 1 رابط الجسم الصلب Body

يعمل هذا الأمر على إعطاء العقد المختارة انتقالات متساوية تحت الحمولات المطبقة من خلال معاملة المنشأ كجسم صلب صلابة مطلقة تماما بالنسبة للحركة الانسحابية حيث تنعدم الانتقالات النسبية بين العقد.

يستخدم أمر (Add Body) في الحالات التالية:

1 ـ نمذجة الروابط الصلبة لمجموعة من الكمرات والأعمدة في المسائل التي تحتاج إلى اعتبار أن حركة المنشأ تتم كجسم صلب.

2 ـ الربط بين عقد عنصر إنشائي معين تم تعريفه في المسألة كعناصر منفصلة من خلال تجزئة هذا العنصر.

3 ـ الربط بين عناصر إطارية (خطية) تقوم بدور الدعامات اللامركزية للعناصر القشرية.

2 ـ 6 ـ 4 ـ 2 رابط الغشاء الصلب Diaphragm

يعمل رابط الغشاء الصلب على إعطاء العقد المختارة ضمن مستوي واحد انتقالات متساوية في المستوي المذكور حيث تعتبر التشوهات في المستوي المذكور معدومة. أي أن الغشاء الرابط لا يعتبر مرنا.

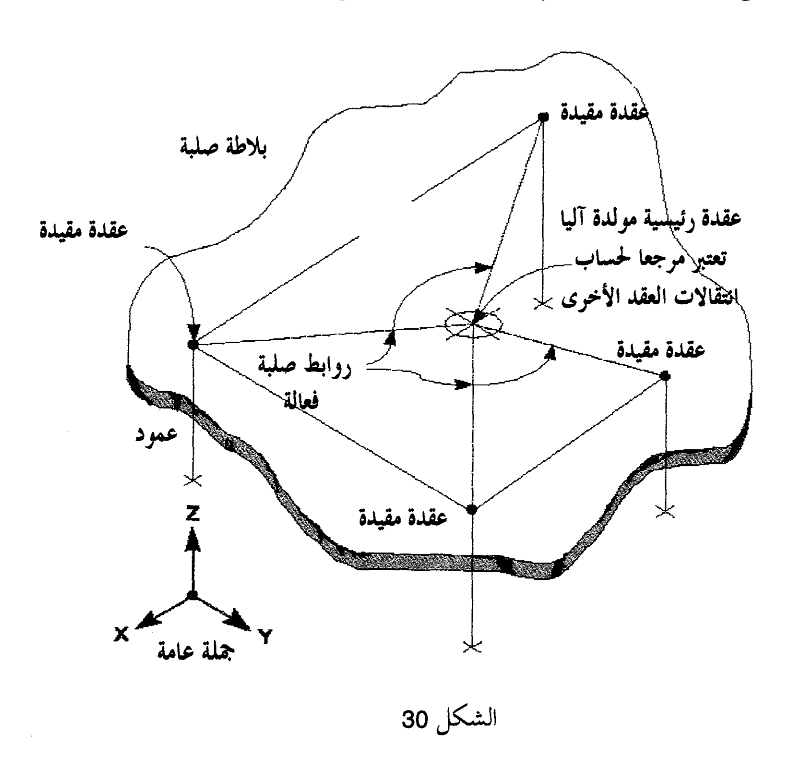
يتوجب حين استخدام هذه الرابطة أن تكون العقد المختارة واقعة على مستقيم واحد هو اتجاه الحركة الانسحابية. وفي حال لم تكن النقاط كذلك ستتولد عزوم انعطاف بسبب الربط المذكور، وبالتالي ينوه البرنامج في ملف الإخراج إلى أن القوى في المنشأ غير متوازنة.

يعرف الانتقال أو الانسحاب في هذا الرابط من خلال المحور العمود على مستوي الغشاء والذي هو المحور (3) دوما.

يستخدم أمر (Add Diaphragm) في الحالتين التاليتين:

1 ـ تمثيل بلاطات الطوابق في المنشآت الخرسانية أو التدعيم الأفقي الذي يربط بين العناصر الإنشائية في المستوي المختار حيث تعمل هذه الروابط على الشد والضغط فقط. .. انظر الشكل (30).

2 ـ تمثيل الحواجز المسلحة في الأجزاء العلوية من منشآت الجسور الخرسانية.



الشكل 30

2 ـ 6 ـ 4 ـ 3 الرابط الصفيحي Plate

يعمل الرابط الصفيحي على إعطاء العقد التي تنتمي لصفيحة مسطحة معينة انتقالات متساوية

في المستوي العمودي على هذه الصفيحة، حيث تعتبر الصفيحة المذكورة صلبة ومقاومة للانعطاف.

يمكن أن يطبق الرابط الصفيحي على عقدتين أو أكثر تقع في أي مكان من الفراغ دون أن يؤثر ذلك على توازن القوى في المنشأ خلافا للرباط السابق، وتعتبر كل من التشوهات خارج المستوي والانتقالات النسبية المستوية بين العقد معدومة، ولا تتأثر الانتقالات المطلقة بهذا الرابط.

يستخدم أمر (Add Plate) في الحالات التالية:

1 ـ عند اتصال عناصر محددة إطارية أو قشرية مع عناصر محددة مستوية أو كتلية صلبة.

2 ـ من أجل نقل دوران عنصر إطاري أو قشري إلى عنصر كتلي على هيئة مزدوجة يعبر عنها بانتقالين معاكسين.

3 ـ من أجل تطبيق الفرضية القائلة بأن المقاطع المستوية قبل التحميل تبقى مستوية بعده والتي تطبق في حالات انعطاف الكمرات والبلاطات.

2 ـ 6 ـ 4 ـ 4 الرابط القضيبي Rod

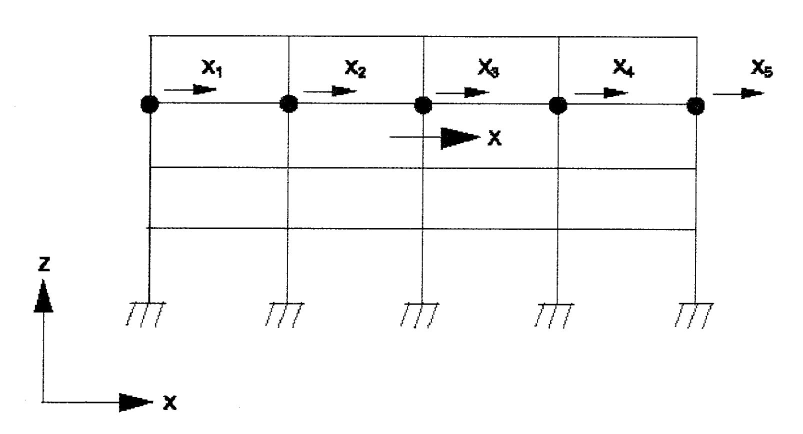
يعمل الرابط القضيبي على منع الانتقالات النسبية فقط للعقد المختارة باتجاه المحور الطولي للقضيب (وهو المحور المحلي 1 دوما) دون أن يمنع ذلك الانتقالات المطلقة أو الدورانات. حيث تنتقل كافة العقد المختارة بحركة انسحابية ثابتة بحيث تحافظ على المسافات فيما بينها.

يستخدم أمر (Add Rod) في الحالتين التاليتين:

1 ـ بهدف تقييد عنصر إطاري ضد التشوهات المحورية للعناصر الواصلة بين العقد.

2 ـ لتمثيل بلاطات صلبة ذات سلوك للعقد مشابه لعقد الشبكيات (Truss).

ويوضح الشكل (31) مثالا على استخدام الرابط المذكور في إطار ثنائي الأبعاد والذي أهملت فيه التشوهات المحورية لكي تنتقل العقد المشار إليها في الاتجاه (x) انتقالا واحدا. مع التذكير بأن القوى المحورية في ملف الإخراج ستكون معدومة.



الشكل 31

يتوجب حين استخدام هذه الرابطة أن تكون العقد المختارة واقعة على مستقيم واحد هو اتجاه الحركة الانسحابية. وفي حال لم تكن النقاط كذلك ستتولد عزوم انعطاف بسبب الربط المطلوب وبالتالي ينوه البرنامج في ملف الإخراج إلى أن القوى في المنشأ غير متوازنة.

2 ـ 6 ـ 4 ـ 5 الرابط الكمري Beam

يعمل الرابط الكمري على منع الانتقالات العرضية لعنصر إطاري دون منع الدورانات والانتقالات الطولية فيه أي مع الإبقاء على القوى المحورية والفتل. وبذلك تنتقل كافة العقد التي يجب أن تقع على مستقيم واحد تحت الحمولات المطبقة وكأن العنصر الواصل بين هذه العقد كمرة غير قابلة للانعطاف.

يستخدم أمر (Add Beam) في الحالتين التاليتين:

1 ـ لربط عناصر محددة إطارية أو قشرية مع عناصر محددة كتلية أو مستوية.

2 ـ لمنع تشوهات الانحناء في العناصر الإطارية.

2 ـ 6 ـ 4 ـ 6 رابط الانتقالات المتساوية Equal

يعمل هذا الأمر على إعطاء العقد المختارة انتقالات متساوية في اتجاه واحد أو في اتجاهي المحورين المحليين للعقدة.

ويختلف الرابط (Body) عن الرابط (Equal) في أن الأخير يفصل العلاقة بين الانتقالات والدروانات.

يستخدم أمر (Add Equal) في الحالتين التاليتين:

1 ـ لتمثيل شروط التناظر حول مستوي معين.

2 ـ لنمذجة الفواصل وعقد التمدد.

2 ـ 6 ـ 4 ـ 7 الرابط المحلي Local

يعمل الأمر (Add Local) على إعطاء العقد المختارة انتقالات متساوية في كافة اتجاهات المحاور المحلية للعقدة.

يعتمد الرابط سلوك (Local) على جملة الإحداثيات المحلية للعقد المختارة وهو يختلف عن الرابط (Body) أيضا في أن الأول يفصل كذلك العلاقة بين الانتقالات والدروانات. كما يطابق هذا النوع الرابط السابق (Equal) إذا كانت كافة العقد المختارة لها جملة إحداثيات محلية واحدة.

يستخدم أمر (Add Local) في الحالتين التاليتين:

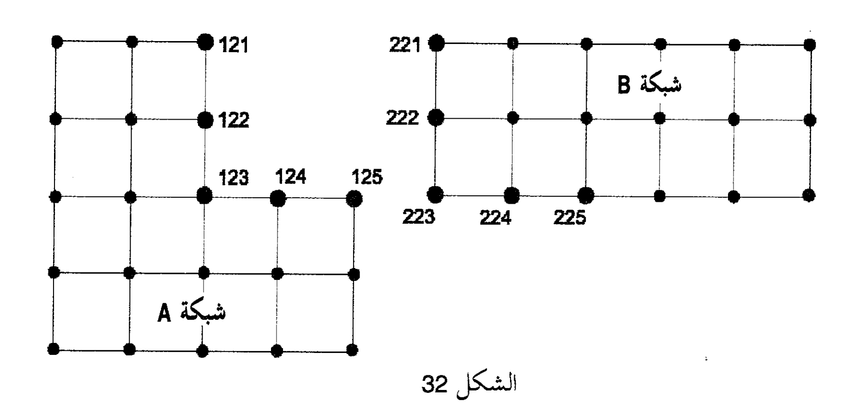
1 ـ لتمثيل شروط التناظر حول نقطة محددة أو حول مستقيم معين.

1 ـ لتمثيل ميكانيزمات نقل الحركة.

2 ـ 6 ـ 4 ـ 8 رابط اللحام Weld

يعمل هذا الأمر الرابط على ربط عناصر محددة من المنشأ تم تعريفها في المسألة كعناصر منفصلة من خلال تجزئة هذه العناصر، ويوضح الشكل (32) مثالا عن ذلك. حيث يتم ربط الشبكتين (A , B) من خلال ربط العقد (121 وحتى 125) من الشبكة (A)، مع ما يقابلها (221 وحتى 225) من الشبكة (B) بحيث يجري ربط كل عقدتين متقابلتين معا. مع الإشارة إلى أن العقد التي يتم ربطها في لها نفس الموقع.

ومما يجدر ذكره أن رابط اللحام لا يعتبر رابطاً صلباً، وإنما يعبر فقط عن مجموعة روابط تصل بين العقد المتقابلة.



الشكل 32

2 ـ 6 ـ 5 قراءة نتائج العناصر القشرية

نكرر في الفقرة التالية ما ورد في الفقرة (1 ـ 4 ـ 7 ـ 3) من الجزء التالي نظراً لأهمية هذا الموضوع ولتسهيل العودة إليه حين الحاجة.

2 ـ 6 ـ 5 ـ 1 القوى Forces

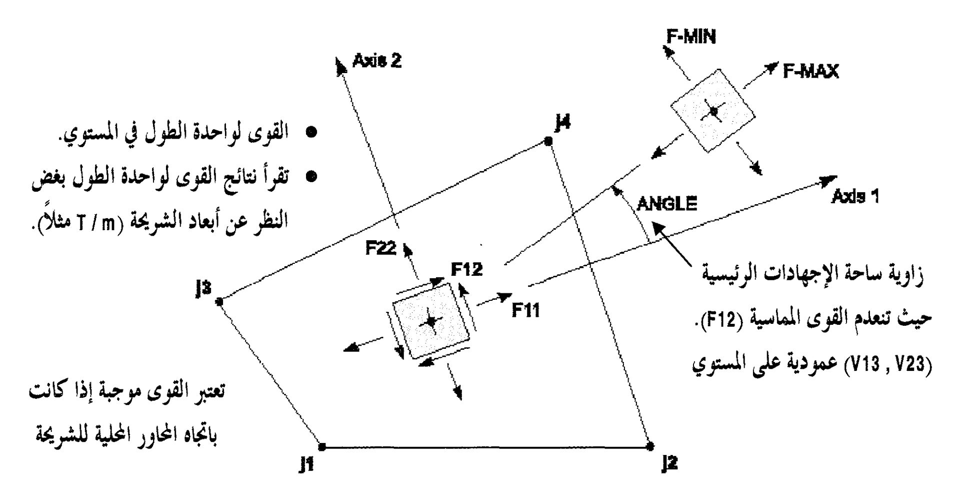
تقرأ نتائج القوى المتولدة في العناصر القشرية لواحدة الطول بغض النظر عن أبعاد الشريحة. (T / m مثلاً).. (الشكل 33).

(F11 , F22) ـ القوى في المستوي (شد أو ضغط على الشريحة) وفي اتجاهات المحاور (1 و 2).

(F12) ـ قوة القص في المستوي (12) والتي تسبب ليّ (Twisting) حول محور عمودي على مستوي الشريحة.

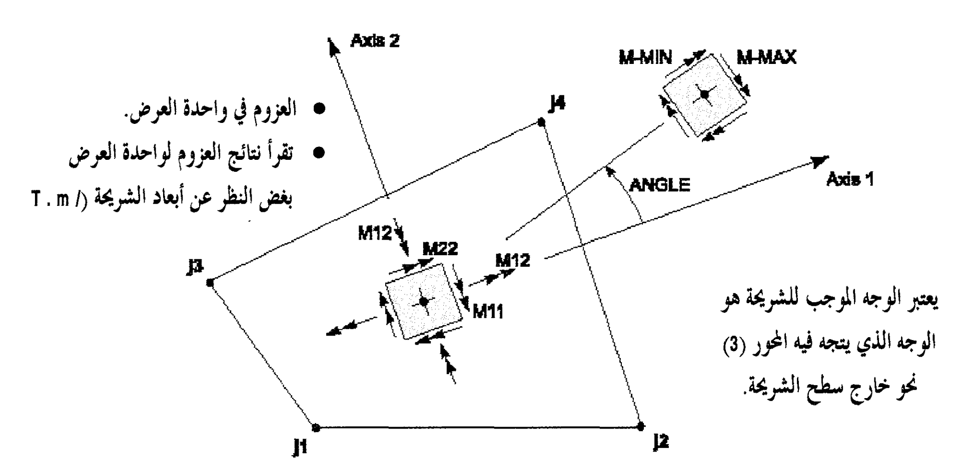
(FMAX , FMIN) ـ قوى الشد والضغط العظمى والصغرى ضمن مستوي الشريحة القشرية في ساحة الإجهادات الرئيسية حيث تنعدم القوى من الإجهادات المماسية (F12).

(FVM) ـ انظر الفقرة (Display Member Force or Stress Diagram في الملف المساعد Help).



الإجهادات والقوى الغشائية

- (F-MIN و F-MAX) عن قوى الشد والضغط العظمى والصغرى ضمن مستوي الشريحة القشرية في ساحة الإجهادات الرئيسية حيث تنعدم القوى المماسية (F12).
- يتم تعريف الإجهادات (S i j) بنفس طريقة تعريف القوى (F i j).



عزوم الانعطاف والفتل (اللي Twisting) وإشاراتها الموجبة

تعبر (M-MIN و M-MAX) عن عزوم الانعطاف العظمى والصغرى في ساحة الإجهادات الرئيسية حيث تنعدم عزوم اللي.

الشكل 33

وتحسب القوى الداخلية السابقة من خلال الإجهادات باعتبارها ثابتة على كامل سماكة العنصر.

(M11) ـ عزم الانعطاف باتجاه المحور المحلي (11) (أو الذي يحني الشريحة باتجاه المحور 1).

(M22) ـ عزم الانعطاف باتجاه المحور المحلي (22) (أو الذي يحني الشريحة باتجاه المحور 2).

(M12) ـ عزم اللي (Twisting) المستوي (12).

(MMAX , MMIN) ـ عزوم الانعطاف العظمى والصغرى في ساحة الإجهادات الرئيسية حيث تنعدم عزوم اللي.

تقرأ نتائج هذه العزوم لواحدة العرض بغض النظر عن أبعاد الشريحة. (T . m / m مثلاً).

(V13) ـ قوة القص العرضية المعامدة للمستوي (13).. (القص باتجاه المحور 3 والمرسوم على المحور 1)

(V23) ـ قوة القص العرضية المعامدة للمستوي (23).. (القص باتجاه المحور 3 والمرسوم على المحور 2).

والقص يكون باتجاه المحور (3) دوماً.. انظر العلاقات مع الإجهادات أدناه.

(VMAX) ـ قوة القص العظمى في ساحة الإجهادات الرئيسية.

وتحسب القوى السابقة من خلال القيم الوسطية للإجهادات في عقد كل عنصر قشري.

2 ـ 6 ـ 5 ـ 2 مجالات خطوط الكونتور Contour Range

(min , max) ـ القيم الدنيا والعظمى للأفعال الداخلية التي يطلب معاينتها.. وتعطي القيمة الافتراضية (0) معاينة كامل المجال المحسوب.

2 ـ 6 ـ 5 ـ 3 الإجهادات Stresses

(Stress Averaging) ـ توسيط الإجهادات:

(non) ـ عدم السماح للبرنامج بحساب وسطي القوى والإجهادات.

(at All joints) ـ القيام بحساب وسطي القوى والإجهادات في كافة العقد.

(at Select joints) ـ القيام بحساب وسطي القوى والإجهادات في المجموعات المختارة.

ويرمز للإجهادات في ملفات الإخراج بـ (S11 , S22 , S12 , S13 , S23).

(Display on deformed Shape) ـ عرض مخططات الأفعال الداخلية على الشكل المشوه للمنشأ.

تبين الصيغ التالية العلاقات التي تربط الإجهادات بالأفعال الداخلية:

$$S11 = \frac{F11}{t} - \frac{12\,M11}{t\,b^3}\,x_3$$

$$S22 = \frac{F22}{t} - \frac{12\,M22}{t\,b^3}\,x_3$$

$$S12 = \frac{F12}{t} - \frac{12\,M12}{t\,b^3}\,x_3$$

حيث (t) سماكة العنصر القشري. و(b) عرض الشريحة لواحدة الأبعاد ويساوي الواحد (1).

(x 3) إحداثي السماكة اعتباراً من السطح المتوسط للعنصر.

$$S13 = \frac{V13}{t\,b}$$

$$S23 = \frac{V23}{t\,b}$$

$$S33 = 0$$

$$S23 = \frac{V23}{t\,b}$$

ويجري حساب قوى القص المستوية من العلاقتين:

$$V13 = \frac{dM11}{dx_1} - \frac{dM12}{dx_2}$$

$$V23 = \frac{dM22}{dx_1} - \frac{dM22}{dx_2}$$

حيث (x 1) الإحداثي المستوي الموازي للمحور (1 - 1). و(x 2) الإحداثي المستوي الموازي للمحور (2 - 2).

فهرس الفصل 3 ـ أمثلة تطبيقية...

3 ـ 3 ـ 1 ـ 1 حساب الحمولات

3 ـ 3 ـ 1 ـ 2 نمذجة المنشأ

3 ـ 3 ـ 1 ـ 3 قراءة نتائج التحليل الستاتيكي

3 ـ 3 ـ 1 ـ 4 معاينة ملف الإخراج

3 ـ 3 ـ 2 التحليل الديناميكي

3 ـ 3 ـ 2 ـ 1 أساسيات

3 ـ 3 ـ 2 ـ 3 إدخال البيانات

3 ـ 3 ـ 2 ـ 3 تنفيذ التحليل

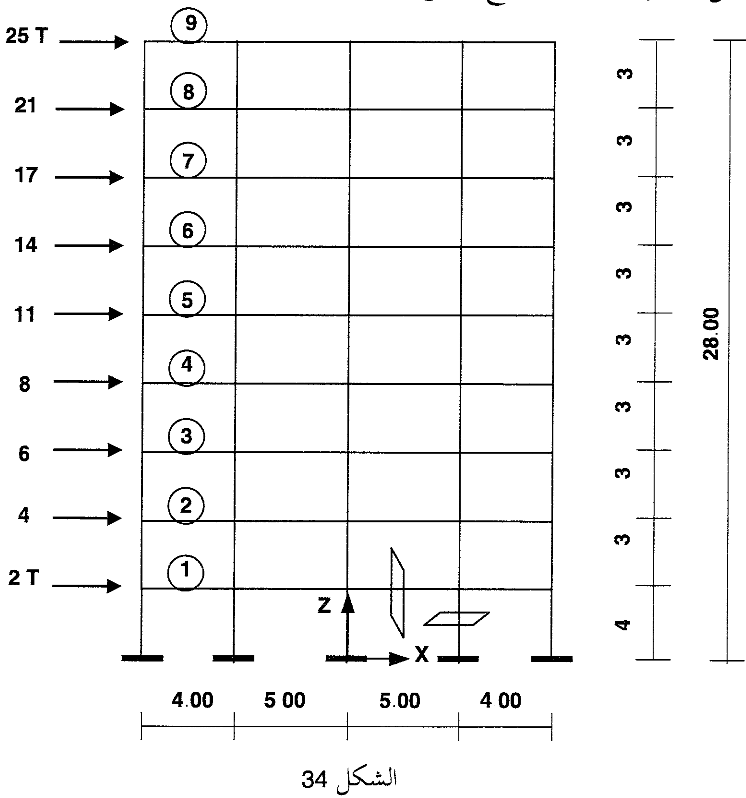
الفصل 3. أمثلة تطبيقية...

3 ـ 1 مثال 1 ـ تحليل إطار خرساني ثنائي الأبعاد بطرق مختلفة

يطلب مقارنة نتائج التحليل الستاتيكي للإطار الخرساني الموضح في الشكل (34) (وهو المثال المعطى في الصفحة 119 من الجزء الثاني)، مع نتائج التحليل الديناميكي بالطرق التالية:

1 ـ تحليل طيف الاستجابة.

2 ـ تحليل الحمولات المتغيرة مع الزمن.



الشكل 34

علماً بأن:

ـ الحمولات الزلزالية الستاتيكية المكافئة موضحة على الشكل.

ـ كتلة الطابق الواحد (10 T sec ^{2} / m).. (m = W / g حيث g الجاذبية الأرضية).

ـ أبعاد كافة الكمرات (B = 0.30 x 0.80 m) وأبعاد الأعمدة كما يلي:

الطابق	اسم العمود	أبعاد المقطع
الأول	C 40x100	0.40 x 1.00
2 و 3 و 4	C 40x80	0.40 x 0.80
5 و 6 و 7	C 40x60	0.40 x 0.60
8 و 9	C 40x 50	0.40 x 0.50

3 ـ 1 ـ 1 التحليل الستاتيكي Static Analysis

نذكر باختصار بالتحليل الستاتيكي كما يلي:

3 ـ 1 ـ 1 ـ 1 نمذجة الإطار

1 ـ عدل الواحدات إلى (Ton - m) ثم ارسم الإطار كما في أمثلة الجزأين (1 و 2) استخدام النماذج الجاهزة ـ Portal Frame).

2 ـ استخدم قائمة (Define) لتعرف المعطيات التالية:

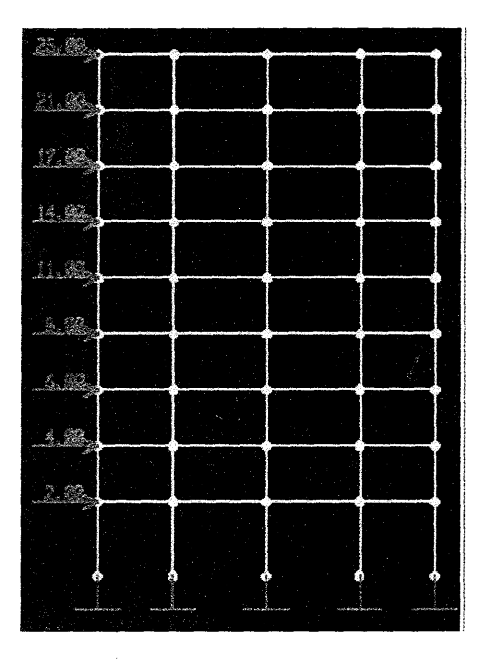
ـ المواد (Materials = CONC).

ـ المقاطع (Frame Sections) حسب الجدول السابق.

ـ حالات التحميل (DL , LL , EL).

3 ـ عين من قائمة (Assign) كلا من المقاطع والحمولات والمساند.

ثم عين من نفس القائمة رابط الغشاء الصلب (موضوع الفقرة 2 ـ 6 ـ 4 ـ 2) في الفصل السابق كما يلي:



الشكل 35

ــ اختر كافة عقد الطابق الأول بنافذة مطاطية.

Assign → Joint → Constraints → (صندوق الحوار 36) →

Click to → Add Diaphragm → (صندوق الحوار 37) →

(اختيار اسم الرابط حافظ على الاسم التلقائي والمحور العمودي عليه Z) → OK → OK

لاحظ تلون العقد المختارة بالأخضر الفاتح

Constraints

Constraints

NULL

Click to:

Add Diaphragm

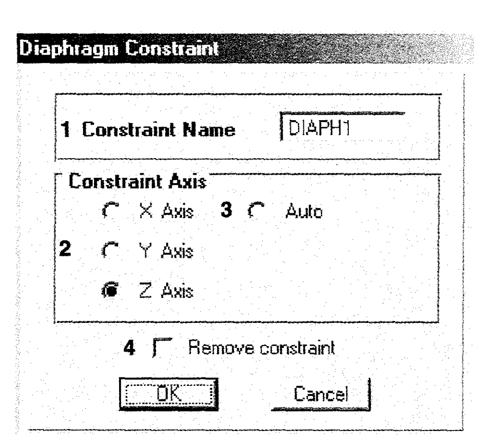
Modify/Show Constraint

Delete Constraint

OK

Cancel

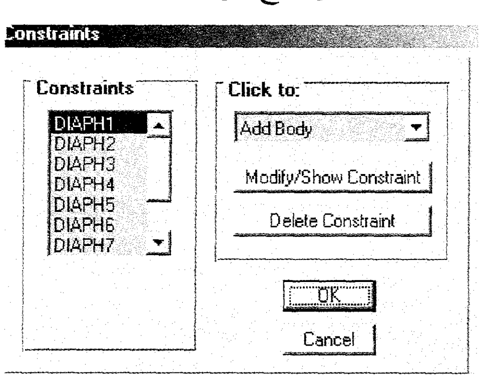
الشكل 36



الشكل 37

1 ـ اسم الرابط. 2 ـ الاتجاهات المعامدة لمستوي الربط. 3 ـ اختيار آلي للربط (**يمكن اعتماده بشكل دائم وخاصةً في حالة الديافرامات المائلة كما في السقوف الجمالونية**). 4 ـ إزالة رابط.

ـ كرر العملية السابقة على كافة الطوابق لتحصل على الشكل (38)، مع توخي الدقة أثناء تعيين الروابط لأن تكرار أكثر من نوع من الروابط يسبب خطأً أثناء التحليل.



الشكل 38

4 ـ عين من قائمة (Assign) كتل الطوابق كما يلي:

باعتبار أن كافة الطوابق متساوية الكتلة فيمكن اختيار عقدة واحدة فقط من كل بلاطة (العنصر الأفقي في الإطار). لذلك اختر مثلاً كافة العقد الواقعة على أي عمود باستثناء عقد المساند، ثم نفذ ما يلي:

Assign → Joint → Masses → (صندوق الحوار 39)

→ (Direction 1 أدخل قيمة كتلة الطابق في الخيار) → OK

Joint Masses

Masses in Local Directions

قيم الكتل العقدية

Direction 1 10

Direction 2 0.

Direction 3 0.

Mom. of Inertia in Local Directions

قيم عزوم العطالة العقدية

Rotation about 1 0.

Rotation about 2 0.

Rotation about 3 0.

Options

Add to existing masses

Replace existing masses

Delete existing masses

OK Cancel

الشكل 39

5 ـ اختر نوع التحليل:

Analyze → Set Options → XZ Plane → OK

6 ـ احفظ الملف باسم معين وليكن (Static 1) ثم ابدأ التحليل (F5).

ـ نتائج التحليل:

ـ تأكد من تساوي مجموع قوى القص القاعدي وحاصلة القوى الجانبية المطبقة من حالة التحميل (EL) كما يلي:

ـ اختر كافة عقد المساند بنافذة مطاطية ثم اختر أعمدة الطابق الأول بالمستقيم القاطع (Set Intersecting Line Select Mode). وأنشئ بعد ذلك مجموعة مؤلفة من هذه العناصر باسم (Group 1) وفق الخطوات التالية:

Assign → Group Name → (أدخل في صندوق الحوار الناتج اسم Group 1 عند خيار Group)
→ Add New Group Name → OK

ـ حدد حالة التحميل (EL) كما يلي:

Display → Set Output Table Mode = Shift + F12 →

(حدد في صندوق الحوار الناتج الحمولات المطلوبة ـ جرب حالات التحميل الثلاث فقط) → OK

ـ أظهر مجموع القوى المطبقة في المجموعة المعرفة كما يلي:

Display → Show Group Joint Force Sums → Group1 → OK

تحصل على النافذة المجدولة (40).

GROUP JOINT FORCE SUMMATION

File

GROUP	LOAD	F-X	F-Y	F-Z	M-X	M-Y	M-Z
1 (Sum at X=0 Y=0 Z=0)							
	DL	0.000	0.000	835.596	0.000	0.000	0.000
	LL	0.000	0.000	486.000	0.000	0.000	0.000
	EL	-108.000	0.000	0.000	0.000	-2241.000	0.000

الشكل 40

ـ لاحظ في هذه النافذة أن حاصلة القوى الأفقية من الحالة (EL) تساوي مجموع القوى المطبقة والموضحة في الشكل (35).. ولاحظ أيضا أن إحداثيات مركز الكتلة للمجموعة هو (0 , 0 , 0).

ـ يمكن تكرار الخطوة السابقة في كل طابق بعد اختيار عقد القاعدة مع أعمدة الطابق وتعيينها كمجموعة واحدة.. فمن أجل مجموعة الطابق الثالث مثلا يجب أن نحصل على القيم المبينة في الشكل (41).. لاحظ إحداثيات مركز الكتلة.

GROUP JOINT FORCE SUMMATION

File

GROUP	LOAD	F-X	F-Y	F-Z	M-X	M-Y	M-Z
3 (Sum at X=0 Y=0 Z=7)							
	DL	0.000	0.000	640.084	0.000	0.000	0.000
	LL	0.000	0.000	378.000	0.000	0.000	0.000
	EL	-102.000	0.000	0.000	0.000	-1491.000	0.000

الشكل 41

3 ـ 1 ـ 2 التحليل الديناميكي بطريقة طيف الاستجابة
Response Spectrum Analysis

يمكن تحميل الإطار بأطياف استجابة جاهزة في مكتبة البرنامج أو مضافة من قبل المستثمر.

ففي الحالة الأولى تؤخذ الأطياف الجاهزة من أمر (Response Spectrum Cases) في قائمة (Define) حيث يتم تعريف أو تحديد طيف جاهز في مكتبة البرنامج... وهو ما تم شرحه في الفقرة التالية.

أما إضافة توابع لطيف الاستجابة من قبل المستثمر فتنفذ من أمر (Response Spectrum Functions) في قائمة (Define) أيضا حيث يتم تعريف الطيف المطلوب من خلال تابع معين. وهو ما تم شرحه في الفقرة (3 ـ 1 ـ 2 ـ 6).

ـ لنبدأ بتعريف طيف جاهز. فقبل المباشرة بالحل قم بإلغاء التحليل في المسألة السابقة بفتح القفل من الأيقونة (Lock / Unlock Model)، ثم احفظ الملف بالضغط على المفتاح (F12) باسم جديد وليكن (Dynamic 1). كما ننصح قبل المباشرة بحل هذا المثال بقراءة الأساس النظري لتحليل طيف الاستجابة الوارد في الفقرة (2 ـ 4 ـ 2) وتوابعها في الفصل الثاني.

3 ـ 1 ـ 2 ـ 1 حالات طيف الاستجابة التصميمي Response Spectrum Cases

عرفنا في الفصل الأول مصطلح طيف الاستجابة بأنه نتائج تأثر المنشأ بتحريض القَاعدة الناجم عن حركة متسارعة مع الزمن بسبب هزات الزلازل. وتتمثل هذه الاستجابة بالتردد الطبيعي والتخامد المتولدين في المنشأ.

يحتوي البرنامج عددا من التوابع الافتراضية الجاهزة التي تحمل المنشأ بهذه الأطياف، وقد تم شرحها من خلال خطوات الحل التالية:

1 ـ اختر من قائمة (Define) الأمر (Response Spectrum Cases ـ حالات طيف الاستجابة) لتحصل على صندوق حوار بعنوان (Define Response Spectra ـ تعريف طيف الاستجابة).

2 – اضغط في صندوق الحوار الناتج الخيار (Add New Spectra – إضافة طيف جديد) لتحصل على صندوق الحوار (Response Spectrum Cases Data – بيانات حالات طيف الاستجابة) المبين في الشكل (42).

Response Spectrum Case Data

1 Spectrum Case Name SPEC1

2 Excitation angle 0.

3 Modal Combination

4 CQC 5 SRSS 6 ABS 7 GMC

8 Damping 0.05

9 F1 F2

10 Directional Combination

SRSS

ABS Scale Factor

11 Input Response Spectra

12 Direction 13 Function 14 Scale Factor

U1 UBC94S2 9.81

U2

U3

OK Cancel

الشكل 42

1 – اسم الحالة الطيفية. 2 – زاوية تحريض الاهتزاز المفعلة والمشروحة في الفقرة (2 – 4 – 2 – 1) من الفصل الثاني.

3 – تركيب الأنماط. 4 وحتى 7 – طرق تركيب الأنماط المشروحة في الفقرة (2 – 4 – 2 – 3) من الفصل الثاني.

8 – اسم معامل التخامد المفترض لأنماط الاهتزاز (افترض في المثال 0.05). 9 – الترددان المميزان (F1 , F2) المحددان بالعلاقتين (21 و 22) من الفصل الثاني. **10 – التراكيب التوجيهية للأنماط. وفي حال استخدام الطريقة المطلقة (ABS) فيجب إدخال معامل التضخيم (Scale Factor).** **11 – إدخال طيف الاستجابة في الاتجاهات الثلاثة.** 12 – الاتجاهات مركبات التسارع (U1 , U2 , U3). 13 – التوابع الموجودة ضمن البرنامج.

14 – الجاذبية الأرضية، أو المعامل الذي تقاس التسارعات بالنسبة إليه حيث تضرب هذه التسارعات بالمعامل المذكور.

3 ـ حافظ في صندوق الحوار المذكور على اسم حالة التحميل الطيفية (SPEC1) وعلى كافة البيانات الافتراضية الأخرى، وأدخل فقط معامل تخامد أنماط الاهتزاز والذي سنفترضه في مثالنا (5%) (مع اعتماد طريقة التركيب CQC) لتركيب الأنماط ثم اضغط (OK).

ـ توضيحات إضافية لخيارات صندوق الحوار (42):

A ـ في حال اختيار طريقة التركيب العام للأنماط (GMC) والمشروحة في الفقرة (2 ـ 4 ـ 2 ـ 3) فيجب إدخال قيم الترددين المميزين بحسب العلاقتين (21 و 22) من الفصل الثاني، والمأخوذتين من الجمعية الأمريكية للمهندسين المدنيين (ASCE 4 - American Society of Civil Engineers).

B ـ تم التحميل بطيف الاستجابة التصميمي في النافذة السابقة في الاتجاه (U1) الموافق للتسارع باتجاه المحور (X) العام، وذلك من خلال القائمة المنسدلة للخيار (U1) والتي تعطي الشكل (43). كما تم اختيار طيف الاستجابة الموافق للتربة من النوع رقم (2) بحسب (UBC 94).

Input Response Spectra

Direction	Function	Scale Factor
U1	UBC94S2	9.81
U2	UBC94S1 / UBC94S2	
U3	UBC94S3 / UNIT	

OK Cancel

الشكل 43

UBC 94 S1 ـ طيف الاستجابة الموافق للتربة من النوع رقم (1) بحسب تصنيف كود البناء الموحد (UBC 94).

UBC 94 S2 ـ طيف الاستجابة الموافق للتربة من النوع رقم (2) بحسب (UBC 94).

UBC 94 S3 ـ طيف الاستجابة الموافق للتربة من النوع رقم (3) بحسب (UBC 94).

ـ انظر الشكل (12) في الفصل الأول والجدول الموضح أدناه من أجل تصنيفات التربة.

Unit ـ طيف الاستجابة الموافق لتابع بدور وتسارع واحدي، ويعتبر هذا التابع افتراضيا في البرنامج كما هو مذكور في الملاحظة (C) أدناه... وقد تم شرح التوابع الموضحة في هذه النافذة في الفقرة (3 ـ 1 ـ 2 ـ 6).

C ـ تنسب التسارعات المتولدة عن التحميل بطيف الاستجابة التصميمي وفق التابع المختار بحسب (UBC 94 S2) إلى المعامل رقم (14) في الشكل (42)، والذي يمثل قيمة الجاذبية الأرضية.

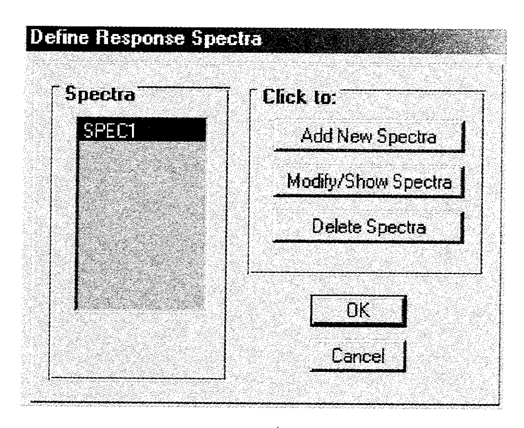
وقد ذكرنا في هذه الفقرة (2 ـ 4 ـ 2 ـ 2) أنه إذا لم يتم تحديد أي تابع فسيعتمد البرنامج تابعا ثابتا يمثل قيمة التسارع الواحدي من أجل كافة الأدوار. ويمكن هنا أن نستخدم معامل التقييس (scale factor) لتحويل قيم التسارعات المعطاة والناجمة عن الجاذبية الأرضية، إلى واحدات متوافقة مع المسألة، كما في الشكل (14) من الفصل الثاني والذي يوضح كيف أن تخامد اهتزاز المنشأ (Damping) مضمن في المنحني المرسوم.

D ـ نشير هنا إلى أهمية الفقرتين (1 ـ 5 ـ 4) و (1 ـ 5 ـ 5 ـ 1) من الفصل الأول. كما نورد تصنيف التربة إلى أربع مناطق في كود البناء الموحد (UBC 94) كما في الجدول التالي.. (انظر الشكل 12 من الفصل الأول).

النوع	توصيف التربة	المعامل S في علاقة حساب القوى الزلزالية
S1	ـ صخور مينيرالية (ذات بنية معدنية) تكون فيها سرعة موجات القص أكبر من (2500 ft / sec = 762 m / sec) ومصنفة وفق معيار مناسب. أو تربة تتزايد فيها الكثافة الوسطية مع العمق. عمقها أقل من (= 200 ft 60.960 m)	1.00
S2	تربة قاسية تتزايد فيها الكثافة الوسطية مع العمق. عمقها أكبر من (200 ft = 60.960 m)	1.20
S3	تربة غضارية ناعمة متدرجة ومتوسطة الصلابة، عمقها بين (= 20 ft 6.96 m) (40 ft = 12.192 m).	1.50
S4	تربة غضارية ناعمة متدرجة ومتوسطة الصلابة، يزيد عمقها عن (40 ft = 12.192 m). وتمتلك سرعة لموجات القص أقل من (500 ft / sec = 152.5m / sec).	2.00
يجب أن يحدد معامل الموقع من المعطيات التكنولوجية العامة. كما ينبغي أن يستخدم مقطع التربة (S3) لتحديد أنواع أو أنماط التربة في كافة المواقع وذلك في الحالات التي تكون فيها خصائص التربة غير معروفة بتفاصيلها الدقيقة.		

E ـ يتراوح معامل التخامد (C) في الخرسانة بين (5% ـ 10%).

4 ـ بعد إنجاز الخطوة (3) أعلاه نحصل على صندوق الحوار الموضح في الشكل (44) والذي يوضح تحديد طيف الاستجابة التصميمي (Spec 1).. اضغط (OK) إغلاق هذا الصندوق.



الشكل 44

3 ـ 1 ـ 2 ـ 2 تحديد إجراءات ووسائط التحليل

1 ـ اختر نوع التحليل كما يلي:

Analyze → Set Options → XZ Plane → (Dynamic Analysis ضع إشارة تحقق بجانب الخيار)

→ Set Dynamic Parameters → (45 تحصل على صندوق الحوار) →

أدخل عدد أنماط الاهتزاز مساويا لعدد الطوابق (9) وحافظ على بقية المعطيات الافتراضية ثم اضغط (OK)

ـ توضيحات إضافية لخيارات صندوق الحوار (45):

A ـ ينبغي تحديد العدد الكافي من أنماط الاهتزاز لكي نحصل على نتائج مفيدة، ويؤخذ هذا العدد عادة في منشآت المباني مساويا لعدد الطوابق. وقد ناقشت الفقرة (2 ـ 3 ـ 1 ـ 1) من الفصل الثاني هذا الموضوع بالتفصيل.

B ـ حين اختيار طريقة أو نمط الأشعة الذاتية للحساب كما في البند (3) من الشكل (45)،

Dynamic Analysis Parameters

1 Number of Modes 9

2 Type of Analysis

3 Eigenvectors 4 Ritz Vectors

5 EigenValue Parameters

6 Frequency Shift (Center) 0.

7 Cutoff Frequency (Radius) 0.

8 Relative tolerance 1.000E-05

9 Include Residual-Mass Modes

10 Starting Ritz Vectors

11 List of Loads 12 Ritz Load Vectors

13 Add ->

14 <- Remove

OK Cancel

الشكل 45

1 ـ عدد أنماط الاهتزاز (يؤخذ عادة مساويا لعدد الطوابق). **2 ـ نمط التحليل.** 3 ـ التحليل باستخدام الأشعة الذاتية (موضوع الفقرة 2 ـ 3 ـ 1) وتوابعها. 4 ـ التحليل باستخدام أشعة ريتز (موضوع الفقرة 2 ـ 3 ـ 2) وتوابعها. 3 ـ تركيب الأنماط. **5 ـ وسائط الأشعة الذاتية.** 6 ـ لتحديد وسيط مركز إزاحة التردد (موضوع الفقرة 2 ـ 3 ـ 1 ـ 2) 7 ـ لتحديد وسيط القطع (موضوع الفقرة 2 ـ 3 ـ 1 ـ 2) الخاصة بالبند السابق. 8 ـ لتحديد وسيط تسامح التقارب (موضوع الفقرة 2 ـ 3 ـ 1 ـ 4). 9 ـ يحتوي على الأنماط المتبقية للكتل بعد تحقيق التقارب. **10 ـ أشعة ريتز الابتدائية (موضوع الفقرة 2 ـ 3 ـ 2).** 11 ـ قائمة الحمولات. 12 ـ أشعة حمولات ريتز . 13 ـ إضافة حمولة أو أشعة حمولة. 14 ـ إزالة حمولة أو أشعة حمولة.

فيجب تحديد سعة تردد الاهتزاز من خلال الوسيطين (Shift , Cut). وفقا لما ورد في الفقرة (2 ـ 3 ـ 1 ـ 2) من الفصل الثاني. إضافة إلى ضرورة تحديد تسامح التقارب (tol) والذي يعبر عن الدور أو الزمن الذي يقترب فيه التسارع من الصفر حيث يصبح التغير النسبي بين الانتقالات أو الدورانات المتولدة في خطوتين زمنيتين متتاليتين أقل من السماحية المذكورة.

هذا ويعرف التغير النسبي في الانتقالات أو الدورانات كنسبة بين قيمهما العظمى في الخطوتين المذكورتين.

وإن اعتماد القيم التلقائية (Shift = 0 , Cut = 0) يعني ترك البرنامج يبحث آلياً عن الأنماط ذات الدور الأطول (أو التردد الأصغر). ويعتبر هذا الخيار إجبارياً عند الرغبة في القيام بتحليل ستاتيكي أو تحليل (P - Δ) أو تحليل الحمولات المتحركة. أما عند التحليل الديناميكي بطريقة طيف الاستجابة أو بطريقة التحليل الزمني فلا يشترط ذلك.

وينصح باستخدام قيم موجبة للوسيط (Shift) إذا كان تردد الحمولة الديناميكية كبيراً كحالة حمولات الآلات المولدة للاهتزاز.

C ـ حين اختيار طريقة ريتز للحساب كما في البند (4) من الشكل (45)، فيجب تحديد أشعة الحمولة البدئية وفقاً لما ورد في الفقرة (2 ـ 3 ـ 2) وتوابعها من الفصل الثاني حيث يسمح البرنامج بتحديد أي عدد من هذه الأشعة ينتج عن حمولة تسارع في اتجاهات المحاور العامة (X , Y , Z) (الاتجاه Xفي مثالنا)، أو من أية حالة تحميل أخرى، أو من حمولة تشوه أو من تشوه لاخطي (وهو الحالة الافتراضية في البرنامج).

3 ـ 1 ـ 2 ـ 3 تنفيذ التحليل وقراءة القص القاعدي

1 ـ اختر الأمر (Run Minimized = Shift + F5) لتنفيذ التحليل بالطريقة الخلفية حيث يساعد هذا الخيار على تحليل المسائل المعقدة. علاوةً على احتوائه على خيار إلغاء التحليل (Cancel) إذا دعت الحاجة.

2 ـ اختر من قائمة (Display) الأمر (Show Deformed Shape) لعرض الشكل المشوه حيث يظهر صندوق الحوار الموضح في الشكل (46).

اختر حالة التحميل (SPEC 1 Spectra) ثم ضع إشارة تحقق بجانب خيار (Wire Shadow ـ ظل المنشأ غير المشوه)، ثم اضغط (OK) لمعاينة الشكل المشوه.

3 ـ اختر الأمر (Show Mode Shape) لعرض أشكال الأنماط حيث يظهر صندوق الحوار

الموضح في الشكل (47) والذي يبين أيضاً عدد الأنماط (Mode Number).

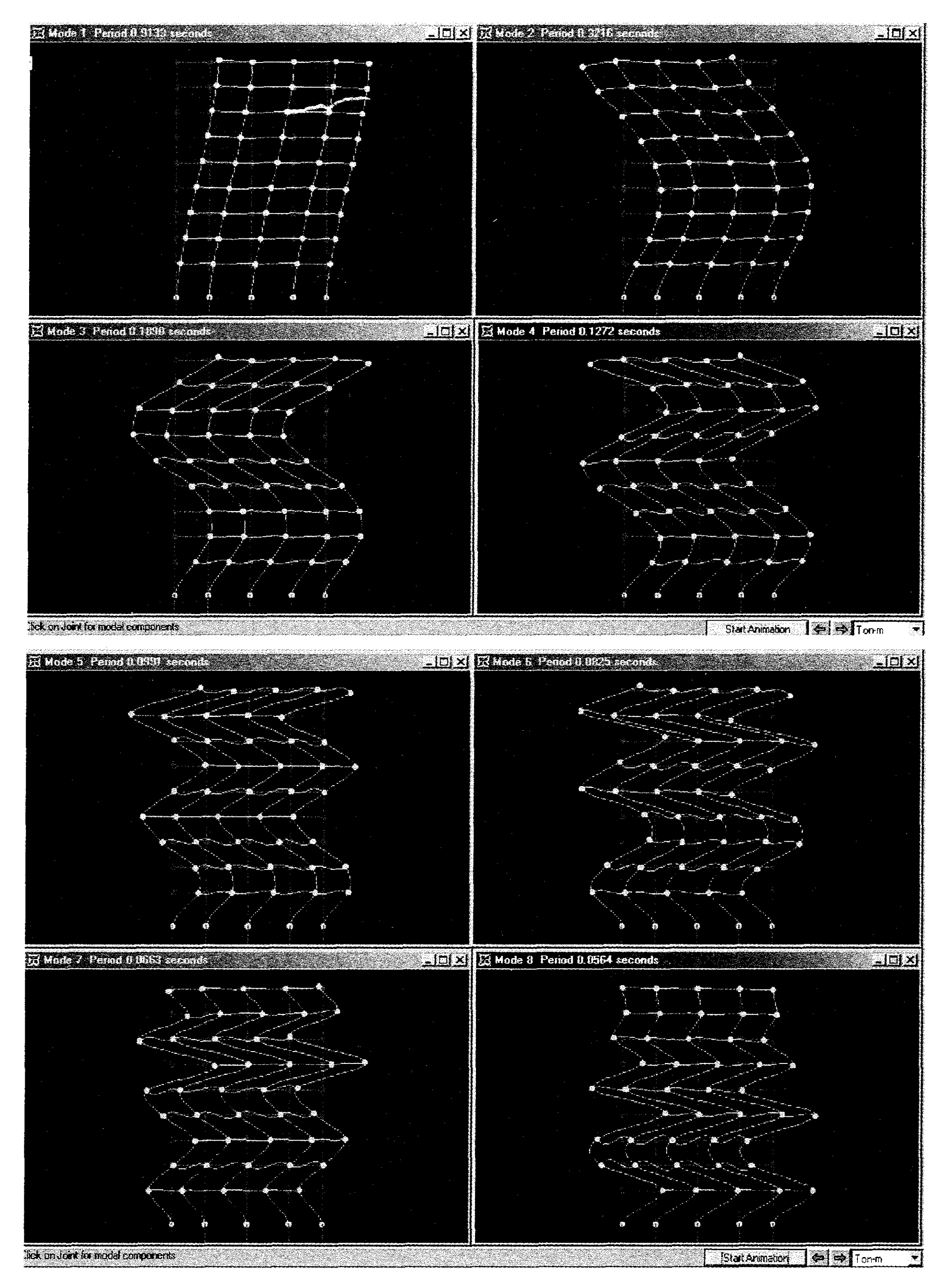
الشكل 46

الشكل 47

ضع إشارة تحقق في هذا الصندوق بجانب خياري (Wire Shadow ـ ظل المنشأ غير المشوه) و (Cubic Curve ـ منحني تكعيبي).. ثم اضغط (OK) لمعاينة النمط الأول.

4 ـ اضغط السهم المتجه نحو اليمين بجانب أمر (Start Animation) أسفل الشاشة، لمعاينة نمط التشوه الثاني، وكرر ذلك لكافة الأنماط. ويبين الشكل (48) الأنماط الثمانية الأولى مثلا التي يجب أن نحصل عليها.

5 ـ ضع مؤشر الماوس فوق أية عقدة من الشكل المشوه أو من أي نمط واضغط بالزر الأيمن لقراءة الانتقالات والدورانات في هذه العقدة.


Mode 1 Period 0.9133 seconds
Mode 2 Period 0.3216 seconds
Mode 3 Period 0.1898 seconds
Mode 4 Period 0.1272 seconds
Click on Joint for modal components
Start Animation
Ton-m
Mode 5 Period 0.0990 seconds
Mode 6 Period 0.0825 seconds
Mode 7 Period 0.0663 seconds
Mode 8 Period 0.0564 seconds
Click on Joint for modal components
Start Animation
Ton-m

الشكل 48

6 ـ عاين إجمالي القوى المطبقة في مجموعة عناصر القاعدة (Group 1) المعرفة في حالة التحليل الستاتيكي:

Display → Show Group Joint Force Sums → Group1 → OK

لتحصل على الجدول (49).

GROUP JOINT FORCE SUMMATION

File

GROUP	LOAD	F-X	F-Y	F-Z	M-X	M-Y	M-Z
GROUP1 (Sum at X=0 Y=0 Z=0)							
	EL	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	SPEC1	1377.762	0.000	7.118E-03	0.000	26427.212	0.000

الشكل 49

لاحظ أن قوة القص القاعدي في حالة تحليل طيف الاستجابة الطبيعي لتسارع الجاذبية الأرضية أكبر بكثير من قوة القص القاعدي في حالة التحليل الستاتيكي.

وتبعا للعديد من الكودات تخفض قوة القص القاعدي الناتجة عن التحليل الديناميكي كما هو موضح في الفقرة (3 ـ 1 ـ 2 ـ 6).

3 ـ 1 ـ 2 ـ 4 محتويات ملف الإخراج

نوضح في هذه الفقرة أهم العناوين التي تظهر بعد التحليل في ملف الإخراج ذي اللاحقة (OUT). وبعض النتائج العددية. ويمكن للزميل المهندس متابعة النتائج الأخرى من خلال الملف المذكور على الشاشة.

ـ إحداثيات الروابط والكتل

CONSTRAINT COORDINATES AND MASSES

وينضوي تحت هذا العنوان (اسم كل رابط Diaphragm ونمطه واتجاهه والإحداثيات المحلية الرئيسية).

ـ درجات الحرية والانتقالات.

DISPLACEMENT DEGREES OF FREEDOM

ونجد تحت هذا العنوان:

ـ درجات الحرية المفعلة ومعادلات التوازن (A) = Active DOF, equilibrium equation

ـ درجة الحرية للقيود وردود الأفعال المحسوبة (-) = Restrained DOF, reaction computed

ـ درجة الحرية للروابط (+) = Constrained DOF

ـ درجات الحرية الخارجية للمنشأ (>) = External substructure DOF

ـ درجات الحرية المعطلة ( ) = Null DOF

ـ كتل العقد المجمعة في جملة الإحداثيات العامة.

ASSEMBLED JOINT MASSESIN IN GLOBAL COORDINATES

ـ إجمالي الكتل العقدية المجمعة في جملة الإحداثيات المحلية.

TOTAL ASSEMBLED JOINT MASSESIN IN GLOBAL COORDINATES

ـ إجمالي الكتل المسرعة ومواقعها.

TOTAL ACCELERATED MASS AND LOCATION

ـ إجمالي الكتل الفعالة أو المنشطة بواسطة حمولات التسارع في جملة الإحداثيات العامة.

TOTAL MASS ACTIVATED BY ACCELERATION LOADS, N GLOBAL COORDINATES

ـ الأدوار النمطية والترددات.

MODAL PERIODS AND FREQUENCIES

ـ الدور (T) مقدرا بواحدة الزمن PERIOD (Time)

ـ التردد أو التواتر (f) مقدرا بعدد الدورات في واحدة الزمن FREQUENCY (Cyc / Time)

ـ التردد أو التواتر الزاوي (ω) مقدرا بالراديان في واحدة الزمن ($\omega = 2\pi f$) FREQUENCY (Rad/Time)

ـ القيمة الذاتية (ω^2) مقدرة بالراديان في مربع الزمن EIGENVALUE (Rad / Time^2)

ـ معاملات المساهمة النمطية لحمولة التسارع الواحدية في الإحداثيات العامة.. انظر الفقرة (1 ـ 4 ـ 2).

MODAL PARTICIPATION FACTORS FOR UNIT ACCELERATION LOADS IN GLOBAL COORDINATES

ـ نسب الكتل المساهمة النمطية.. انظر الفقرة (2 ـ 4 ـ 1 ـ 1) والملاحظة 1 أدناه.

MODAL PARTICIPATING MASS RATIOS

ـ نسب مساهمة الحمولة النمطية.. انظر الفقرة (2 ـ 4 ـ 1 ـ 2).

MODAL LOAD PARTICIPATION RATIOS

ـ **ملاحظة:**

Dynamic load participation ratio excludes load applied to non-mass degrees of freedom

من أجل هذه الملاحظة انظر البند الثاني من الفقرة 2 ـ 4 ـ 1 ـ 2

ـ تسارعات أطياف الاستجابة في جملة الإحداثيات المحلية.

RESPONSE SPECTRUM ACCELERATIONS IN RESPONSE- SPECTRUM LOCAL COORDINATES

RESPONSE SPECTRUM ACCELERATIONS IN RESPONSE-SPECTRUM LOCAL COORDINATES
SPEC SPEC1 ------------------

MODE	PERIOD	DAMP-RATIO	U1	U2	U3
1	0.913311	0.050000	15.731145	.000000	.000000
2	0.321563	0.050000	24.525000	.000000	.000000
3	0.189013	0.050000	24.525000	.000000	.000000
4	0.127162	0.050000	22.284627	.000000	.000000
5	0.099119	0.050000	19.533593	.000000	.000000
6	0.082466	0.050000	17.899936	.000000	.000000
7	0.066277	0.050000	16.311797	.000000	.000000
8	0.056387	0.050000	15.341588	.000000	.000000
9	0.048132	0.050000	14.531745	.000000	.000000

وتنسب التسارعات دوما إلى جملة الإحداثيات المحلية ويرمز لها بالرموز (U 3 , U 2 , U1).

ـ سعات أطياف الاستجابة في جملة الإحداثيات المحلية.

RESPONSE SPECTRUM MODAL AMPLITUDES IN RESPONSE-SPECTRUM LOCAL COORDINATES

تعرف سعة الطور بأنها جداء معامل المساهمة بالتسارع الطيفي مقسوما على القيمة الذاتية (ω^2).

انظر الفقرة (2 ـ 4 ـ 4 ـ 1)

RESPONSE SPECTRUM MODAL AMPLITUDES IN RESPONSE-SPECTRUM LOCAL COORDINATES
SPEC SPEC1 ------------------

MODE	PERIOD	U1	U2	U3
1	0.913311	-3.050002	.000000	.000000
2	0.321563	0.239958	.000000	.000000
3	0.189013	0.046190	.000000	.000000
4	0.127162	0.013551	.000000	.000000
5	0.099119	-0.005473	.000000	.000000
6	0.082466	-0.002733	.000000	.000000
7	0.066277	0.001168	.000000	.000000
8	0.056387	-0.001031	.000000	.000000
9	0.048132	-9.24E-09	.000000	.000000

ـ الترابطات النمطية بين أطياف الاستجابة.

RESPONSE SPECTRUM MODAL CORRELATIONS

RESPONSE SPECTRUM MODAL CORRELATIONS
SPEC SPEC1 ------------------

MODE I	PERIOD	I	I+1	I+2	I+3	I+4	I+5	I+6	I+7	I+8	I+9
1	0.913311	1.000	0.007	0.002	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	
2	0.321563	1.000	0.032	0.010	0.005	0.004	0.002	0.002	0.001		
3	0.189013	1.000	0.058	0.022	0.012	0.007	0.005	0.004			
4	0.127162	1.000	0.137	0.049	0.021	0.013	0.009				
5	0.099119	1.000	0.227	0.056	0.029	0.017					
6	0.082466	1.000	0.172	0.063	0.031						
7	0.066277	1.000	0.276	0.087							
8	0.056387	1.000	0.284								
9	0.048132	1.000									

تبين المصفوفات المعطاة معاملات الترابط بين الأنماط المتجاورة.

ـ ردود أفعال القاعدة لطيف الاستجابة في جملة الإحداثيات المحلية

RESPONSE SPECTRUM BASE REACTIONS IN RESPONSE-SPECTRUM LOCAL COORDINATES

وهي القوى والعزوم في المساند والتي تقاوم قوى العطالة

RESPONSE SPECTRUM BASE REACTIONS IN RESPONSE-SPECTRUM LOCAL COORDINATES
SPEC SPEC1 ------------------
FOR EACH MODE, DUE TO SPECTRAL ACCELERATION IN DIRECTION U1:

MODE	F1	F2	F3	M1	M2	M3
1	1324.599	.000000	1.41E-08	.000000	26420.939	.000000
2	342.226202	.000000	2.28E-05	.000000	163.878428	.000000
3	106.226811	.000000	-3.39E-05	.000000	414.313431	.000000
4	49.112338	.000000	-0.000831	.000000	20.648558	.000000
5	24.762236	.000000	-4.47E-05	.000000	51.893586	.000000
6	14.065001	.000000	-3.25E-05	.000000	-2.271593	.000000
7	6.759576	.000000	0.000416	.000000	18.579259	.000000
8	10.678700	.000000	-0.001007	.000000	23.730348	.000000
9	1.71E-09	.000000	-0.000573	.000000	5.40E-09	.000000

ـ التراكيب من التسارع الطيفي لكافة الأنماط وفي كافة الاتجاهات.

COMBINED FOR ALL MODES AND ALL DIRECTIONS OF SPECTRAL ACCELERATION

COMBINED FOR ALL MODES AND ALL DIRECTIONS OF SPECTRAL ACCELERATION

	F1	F2	F3	M1	M2	M3
SPEC	1377.762	.000000	0.001517	.000000	26427.213	.000000

ـ توازن القوى باتجاهات المحاور العامة.

GLOBAL FORCE BALANCE

ـ إجمالي العزوم والقوى عند المبدأ في جملة الإحداثيات العامة.

TOTAL FORCE AND MOMENT AT THE ORIGIN, IN GLOBAL COORDINATES

```
GLOBAL FORCE BALANCE
TOTAL FORCE AND MOMENT AT THE ORIGIN, IN GLOBAL COORDINATES
LOAD       EL ------------------
              FX          FY          FZ          MX          MY          MZ
APPLIED    .000000     .000000     .000000     .000000     .000000     .000000
INERTIA    .000000     .000000     .000000     .000000     .000000     .000000
REACTNS    .000000     .000000     .000000     .000000     .000000     .000000
CONSTRS    .000000     .000000     .000000     .000000     .000000     .000000

  TOTAL    .000000     .000000     .000000     .000000     .000000     .000000

MODE        1 ------------------

              FX          FY          FZ          MX          MY          MZ
APPLIED    .000000     .000000     .000000     .000000     .000000     .000000
INERTIA -434.294507    .000000    -4.63E-09    .000000   -8662.598     .000000
REACTNS  434.294507    .000000     3.38E-06    .000000    8662.598     .000000
CONSTRS   -4.59E-10    .000000     .000000     .000000   -1.46E-06     .000000

  TOTAL   7.46E-14     .000000    3.38E-06     .000000   -6.28E-06     .000000

MODE        2 ------------------
```

ـ ملاحظات حول تحليل طيف الاستجابة:

A ـ لاحظ في ملف الإخراج السابق البيانات المعطاة تحت العنوان (نسب الكتل المساهمة النمطية Modal Participating Mass Ratios) لتجد أن النسب المذكورة تحت العمود المعنون بـ (النسبة المئوية للمجموع التراكمي ـ Cumulative Sum Percent) تشير إلى أن الأنماط الخمسة الأولى قد حققت مساهمة قريبة من (100 %) في الاتجاه (X).

ويفيد ذلك في معرفة حدود الدقة المطلوبة تحت حمولات التسارع الأرضي وأهمية الطور المدروس في حساب استجابة التسارع في أي اتجاه. إذ يجب أن تكون نسبة مساهمة الكتلة في كل مركبة من مركبات التسارع مساوية (100 %) فيما لو توفرت كافة أنماط المنشأ المدروس.

B ـ تفرض نتائج التحليل بطريقة طيف الاستجابة على المهندس أن يمتلك تصورا دقيقا وفهما صحيحا لفرضيات النمذجة وللسلوك الستاتيكي للمنشأ قبل إجراء التحليل الديناميكي. ومن أجل ذلك لابد من تحليل أشكال الأنماط (Mode Shape) قبل تنفيذ تحليل طيف الاستجابة أو تحليل الحمولات المتغيرة مع الزمن (Time History).

D ـ ينصح بعد إنهاء التحليل بمراجعة الملف ذي اللاحقة (LOG) والذي يحتوي على سجلات عملية التحليل للتحري عن التحذيرات إن وجدت وعن الأخطاء التي توقف هذه العملية في حال وجودها أيضا. ومن أهم ما يتضمنه هذا الملف المعلومات التالية:

- حجم الذاكرة المتاحة لتخزين المعطيات MEMORY AVAILABLE FOR DATA (BYTES)
- تشكيل عناصر العقد JOINT ELEMENT FORMATION
- تشكيل العناصر الإطارية وعددها FRAME ELEMENT FORMATION
- تشكيل الروابط CONSTRAINT FORMATION
- معادلات الحل التي تتضمن معلومات مختلفة EQUATION SOLUTION
- تحليل القيم الذاتية ويحتوي أيضا معلومات مختلفة EIGEN ANALYSIS .. ومن الضروري الاطلاع على هذه النتائج لفهم ما يعطيه الحل بهذه الطريقة.
- معطيات أخرى...

3 ـ 1 ـ 2 ـ 5 التقييم الستاتيكي لطيف الاستجابة

أولا ـ الأساس النظري:

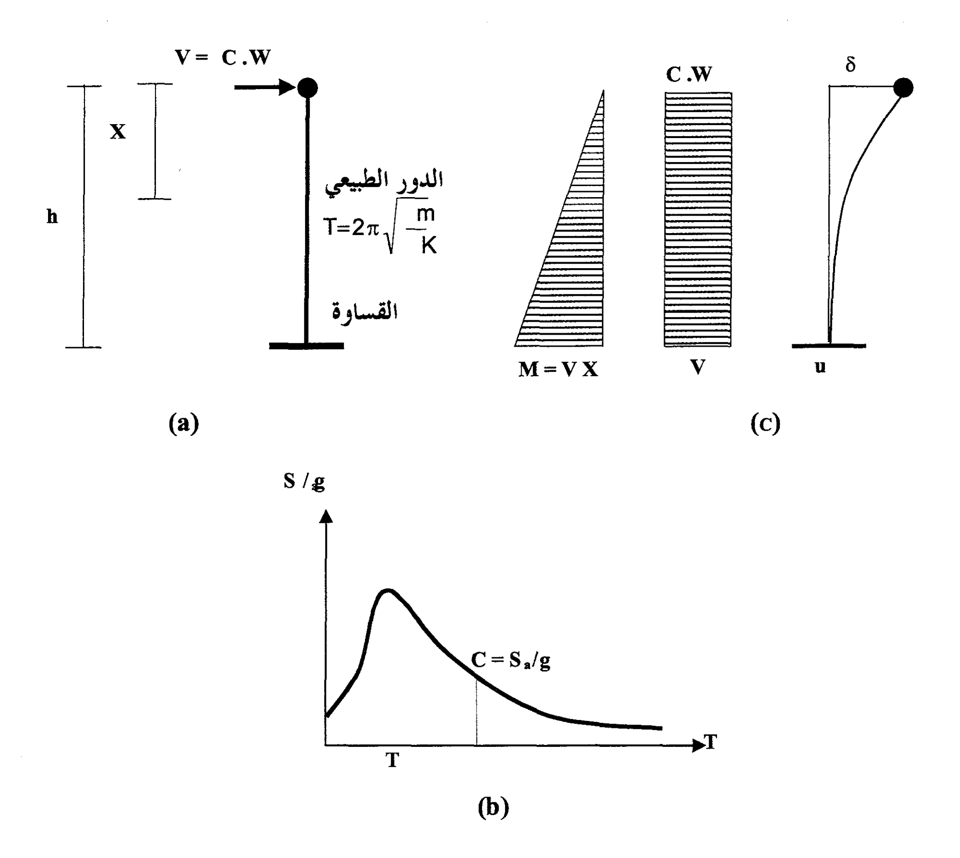
تسمح أطياف التسارع بإجراء تقييم ستاتيكي للزلازل والتي هي ظاهرة ديناميكية تماما. إضافة إلى أنها تعطي صورة عامة عن استجابة المنشآت مع الهزة الزلزالية.. ويقدم هذا التقييم خدمات كبيرة للمهندس الإنشائي الذي اعتاد على استخدام الطرق الستاتيكية.

فلو أمعنا النظر في المثال الموضح في المثال المبين الشكل (50) مثلا لوجدنا أن العلاقة بين قوى العطالة والقوى المعدلة أو المصححة (restoring forces) الصيغة التالية:

$$V = K (X \quad X_0) = K u = - (C u + M X)$$

حيث تعبر (C) هنا عن معامل التعديل الزلزالي.. وبقية المصطلحات الأخرى موضحة على الشكل السابق.

ويصل القص القاعدي (V max) إلى قيمته العظمى عندما يصل الانزياح النسبي إلى قيمته العظمى أيضا، والتي يكون عندها:



الشكل 50 ـ قارن مع الشكل (3) في الفصل الأول.

$$V\ max = k\ u\ max = M\ x\ max$$

أو

$$V\ max = k\ s\ d\ = M\ s$$

وفي حال تم التعبير عن (V max) كتابع لوزن المنشأ (W) تنتج العلاقة التالية:

$$\frac{V_{max}}{W} = C = \frac{M\ S_a}{W} = \frac{M\ S_a}{Mg} = \frac{S_a}{g}$$

وتعبر هذه العلاقة عن الاستنتاج الهام التالي:

بغية إيجاد الإجهادات والتشوهات العظمى لجملة ذات درجة حرية وحيدة بالطريقة الستاتيكية يمكن تحميل الكتلة المركزة (M) بقوة أفقية (V) تساوي جداء وزن الكتلة (W) مضروبا بالمعامل

الزلزالي (C) الذي ينتج عن طيف الاستجابة للزلزال المدروس بعد تعديله إلى تسارع الجاذبيـــة الأرضية (g).

ثانيا ـ إجراءات التعديل:

يتم تعديل القص القاعدي الناتج عن التحليل الطيفي بحيث يقاس إلى التحليل الستاتيكي كما يلي:

1 ـ قم بتقسيم قوى القص القاعدي المحسوب بالطريقة الستاتيكية في الشكل (40) وهي (T 108 -) على قوة القص القاعدي المحسوب بطريقة التحليل الطيفي في الشكل (49)، والتي تبلغ (1374) فتكون النتيجة (0.0786 = 1374 / 108).

2 ـ احسب معامل تخفيض الحمولة الديناميكية السابقة من جداء القيمة الأخيرة بثابت الجاذبية الأرضية. 0.0786 x 9.81 = 0.771

3 ـ استبدل قيمة الجاذبية الأرضية في الشكل (42) بالمعامل السابق ثم أعد التحليل لتحصل على القص القاعدي المعدل كما في الشكل (51)، والذي يعطي نفس نتيجة التحليل الستاتيكي مع خلاف الإشارة.

GROUP JOINT FORCE SUMMATION

File

GROUP	LOAD	F-X	F-Y	F-Z	M-X	M-Y	M-Z
GROUP1 (Sum at X=0 Y=0 Z=0)							
	EL	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	SPEC1	107.943	0.000	2.463E-03	0.000	2076.809	0.000

الشكل 51

3 ـ 1 ـ 2 ـ 6 إضافة أطياف استجابة من خلال التوابع Response Spectrum Functions

استخدمنا في الفقرات السابقة التحليل بواسطة أطياف الاستجابة الجاهزة في البرنامج. ويمكن إضافة أطياف جديدة من خلال إدخال البيانات الخاصة بتوابع طيف الاستجابة المختارة إما بشكل مباشر أو عن طريق استيراد البيانات من ملف خارجي وفق الخطوات التالية:

1 ـ اختر من قائمة (Define) الأمر (Response Spectrum Functions ـ توابع طيف الاستجابة) لتحصل على صندوق حوار بعنوان (Define Response Spectrum Functions ـ تعريف توابع طيف الاستجابة) كما في الشكل (52). ويحتوي هذا الصندوق على ثلاثة توابع مأخوذة من الكود (UBC 94) إضافة إلى التابع (UNIT) ذي الدور والتسارع الواحدي.

Define Response Spectrum Functions

Functions: UBC94S1, UBC94S2, UBC94S3, UNIT

Click to: Add Function from File | Add New Function | Show Function | Delete Function

OK | Cancel

الشكل 52

2 ـ لمعاينة التابع (UBC 94 S1) مثلا اختر التابع المذكور ثم اضغط في صندوق الحوار السابق الخيار (Show Functions ـ إظهار التابع) لتحصل على النافذة (53).

Function Definition

Function Name: UBC94S1

Define Function

Time	Value
0.	1.
0.	1.
0.15	2.5
0.2	2.5
0.39	2.5
0.45	2.13
0.585	1.67

Add | Modify | Delete

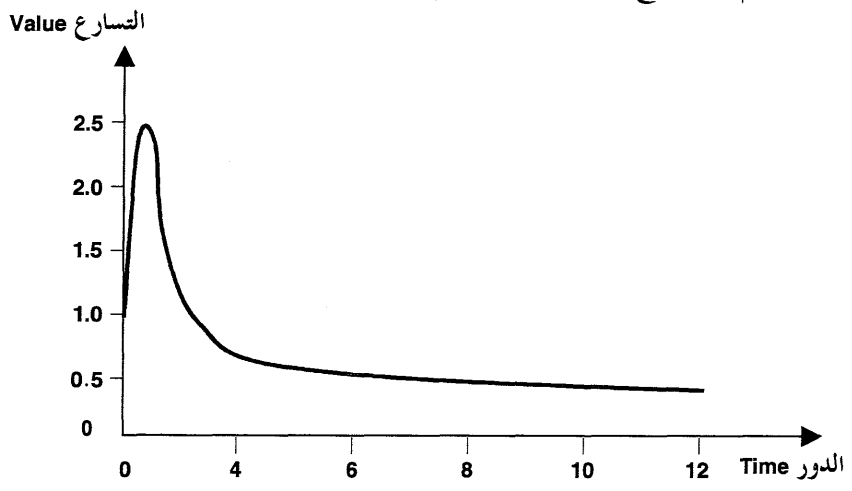
OK | Cancel

الشكل 53

يمثل الوسيط (Time) في هذه النافذة أدوار الاهتزاز، في حين يمثل الوسيط (Value) التسارع الناتج. وتعطى قيم هذا التابع كما في الجدول التالي:

Time	Value
0	1
0.15	2.5
0.2	2.5
0.39	2.5
0.45	2.13
0.585	1.67
0.75	1.3
0.915	1.07
1.1	0.886
1.25	0.78
1.5	0.65
1.75	0.557
2	0.488
2.5	0.39
3	0.325
10	0.098

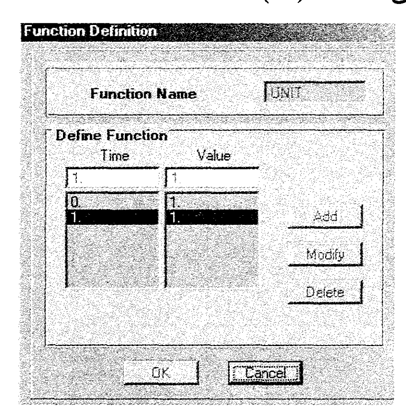
ولو حاولنا رسم هذا التابع لحصلنا على الشكل (54).



الشكل 54 ـ التابع UBC 94 S1 ـ قارن مع الشكل 14 في الفصل الثاني

هذا ويمكن معاينة التوابع (UBC 94 S3 , UBC 94 S2) بنفس الطريقة.

3 ـ لمعاينة التابع الواحدي (UNIT) اضغط في صندوق الحوار السابق الخيار (Show Function ـ إظهار التابع) لتحصل على النافذة (55).



الشكل 55

4 ـ لإدخال بيانات تابع خاص من قبل المستثمر اضغط في الشكل (52) الخيار (Add New Function) لتحصل على صندوق الحوار (56).

Time	Value
0.00	0.67
0.10	1.67
0.13	1.67
0.26	1.67
0.30	1.42
0.39	1.11
0.50	0.87
0.61	0.71
0.73	0.59
0.83	0.52
1.00	0.43
1.17	0.37
1.33	0.33
1.67	0.26
2.00	0.22
6.67	0.07
8.00	0.00

الشكل 56

فلتمثيل تابع بجدول كما هو موضح بجانب الشكل المذكور، ندخل أولا في صندوق الحوار السابق القيمتين (0.67 , 0.00) ثم نضغط (Add) ثم (OK).. ونكرر ذلك على بقية القيم كثنائيات عددية. وبعد إدخال كافة القيم والموافقة عليها (OK) نلاحظ أن التابع (FUNC 1) قد أضيف إلى مجموعة التوابع الموضحة في الشكل (43).

5 ـ يمكن أخيرا وكخيار بديل إدخال البيانات الخاصة بأي تابع محدد من قبل المستثمر في ملف خارجي، من خلال الخيار (Add Function From File) في الشكل (52).

3 ـ 1 ـ 3 تحليل الحمولات المتغيرة مع الزمن (السجل أو التاريخ الزمني) Response Spectrum Analysis

3 ـ 1 ـ 3 ـ 1 مقدمة هامة قبل الحل

يعرف التابع (ELCENTRO) بأنه تابع رياضي لعلاقة تربط بين تغير تسارع الأرض والزمن. وهو يمثل الاهتزاز الحقيقي لزلزل فعلي حدث في أمريكا بتاريخ (18 / 5 / 1940).

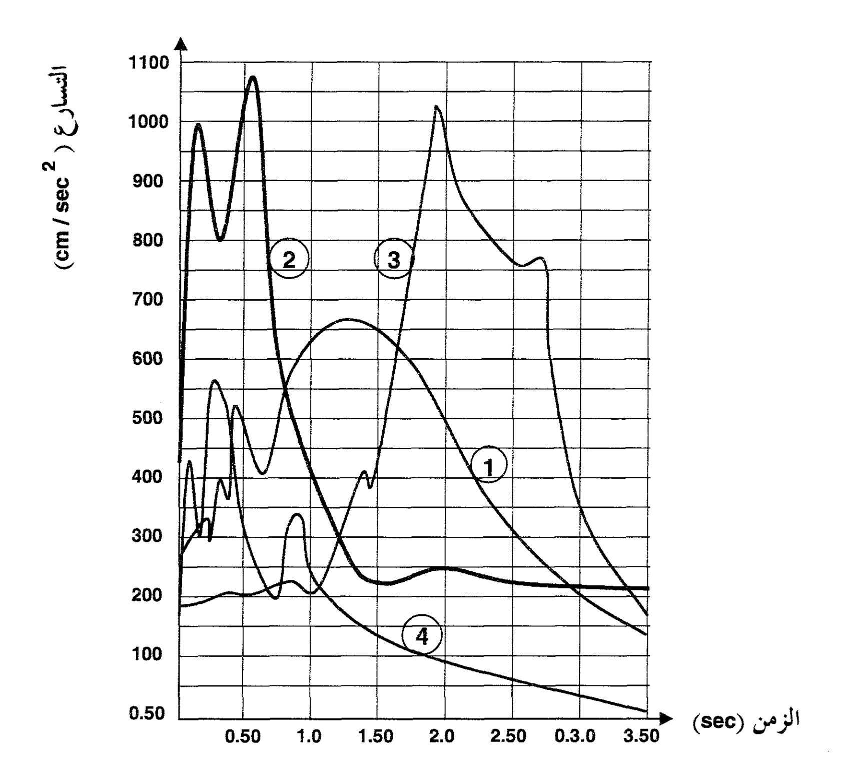
وقد سجلت بيانات هذا الزلزال وتمت دراسته بدقة وعناية حيث أجريت عليه العديد من التحاليل، حتى اعتبر زلزالا مرجعيا تقاس عليه الزلازل الأخرى.

يبين الجدول التالي البيانات الرقمية لزلزال (ELCENTRO).. كما يبين الشكل (57) طيف استجابة التسارع لثلاثة زلازل قوية أخرى تم مقارنتها به. وقد اعتبرت معاملات التخامد في كافة هذه الزلازل (0.05).

بيانات الزلزال إلسنترو					
الزمن	التسارع	الزمن	التسارع	الزمن	التسارع
0	0.0108	0.042	0.001	0.097	0.0159
0.161	-0.0001	0.221	0.0189	0.263	0.0001
0.291	0.0059	0.332	-0.0012	0.374	0.02
0.429	-0.0237	0.471	0.0076	0.581	0.0425
0.623	0.0094	0.665	0.0138	0.72	-0.0088
0.7201	-0.0256	0.789	-0.0387	0.7891	-0.0568
0.872	-0.0232	0.8721	-0.0343	0.941	-0.0402
0.9411	-0.0603	0.997	-0.0789	1.066	-0.0666
1.0661	-0.0381	1.094	-0.0429	1.168	0.0897

1.315	-0.1696	1.384	-0.0828	1.412	-0.0828
1.44	-0.0945	1.481	-0.0885	1.509	-0.108
1.537	-0.128	1.628	0.1144	1.703	0.2355
1.8	0.1428	1.855	0.1777	1.924	-0.261
2.007	-0.3194	2.215	0.2952	2.27	0.2634
2.32	-0.2984	2.395	0.0054	2.45	0.2865
2.519	-0.0469	2.575	0.1516	2.652	0.2077
2.708	0.1087	2.769	-0.0325	2.893	0.1033
2.976	-0.0803	3.068	0.052	3.129	-0.1547
3.212	0.0065	3.253	-0.206	3.386	0.1927
3.419	-0.0937	3.53	0.1708	3.599	-0.0359
3.668	0.0365	3.738	-0.0736	3.835	0.0311
3.904	-0.1833	4.014	0.0227	4.056	-0.0435
4.106	0.0216	4.222	-0.1972	4.314	-0.1762
4.416	0.146	4.471	-0.0047	4.618	0.2572
4.665	-0.2045	4.756	0.0608	4.831	-0.2733
4.97	0.1779	5.039	0.0301	5.108	0.2183
5.199	0.0267	5.233	0.1252	5.302	0.129
5.33	0.1089	5.343	-0.0239	5.454	0.1723
5.51	-0.1021	5.606	0.0141	5.69	-0.1949
5.773	-0.0242	5.8	-0.005	5.809	-0.0275
5.869	-0.0573	5.883	-0.0327	5.925	0.0216
5.98	0.0108	6.013	0.0235	6.085	-0.0665
6.132	0.0014	6.174	0.0493	6.188	0.0149
6.1881	-0.02	6.229	-0.0381	6.279	0.0207
6.326	-0.0058	6.368	-0.0603	6.382	-0.0162
6.409	0.02	6.459	-0.0176	6.478	-0.0033
6.52	0.0043	6.534	-0.004	6.562	-0.0099
6.575	-0.0017	6.603	-0.017	6.645	0.0373
6.686	0.0457	6.714	0.0385	6.728	0.0009
6.769	-0.0288	6.7691	0.0016	6.811	0.0113
6.852	0.0022	6.908	0.0092	6.991	-0.0996
7.074	0.036	7.121	0.0078	7.143	-0.0277
7.149	0.0026	7.171	0.0272	7.226	0.0576
7.295	-0.0492	7.37	0.0297	7.406	0.0109
7.425	0.0186	7.461	-0.0253	7.525	-0.0347
7.572	0.0036	7.6	-0.0628	7.641	-0.028
7.669	-0.0196	7.691	0.0068	7.752	-0.0054
7.794	-0.0603	7.835	-0.0357	7.877	-0.0716
7.96	-0.014	7.987	-0.0056	8.001	0.0222
8.07	0.0468	8.126	0.026	8.1261	-0.0335
8.195	-0.0128	8.223	0.0661	8.278	0.0305
8.334	0.0246	8.403	0.0347	8.458	-0.0369
8.533	-0.0344	8.596	-0.0104	8.638	-0.026
8.735	0.1534	8.818	-0.0028	8.86	0.0233
8.882	-0.0261	8.915	-0.0022	8.956	-0.1849
9.053	0.126	9.095	0.032	9.123	0.0955
9.15	0.1246	9.253	-0.0328	9.289	-0.0451
9.427	0.1301	9.441	-0.1657	9.51	0.0419
9.635	-0.0936	9.704	0.0816	9.815	-0.0881
9.898	0.0064	9.939	-0.0006	9.995	0.0586
10.022	-0.0713	10.05	-0.0448	10.0501	-0.0221

10.105	0.0093	10.1051	0.0024	10.188	0.051
10.272	-0.1243	10.382	0.0587	10.424	0.0133
10.452	0.0386	10.465	0.1164	10.507	-0.0374
10.534	-0.0572	10.645	0.0308	10.701	0.0223
10.714	0.0515	10.77	0.0903	10.839	-0.0194
10.922	0.0471	10.9221	-0.0677	10.964	-0.0794
10.991	-0.012	11.074	0.0608	11.088	-0.0269
11.116	-0.0416	11.207	0.0293	11.2071	0.0552
11.227	0.0756	11.268	0.0431	11.324	0.0208
11.434	0.118	11.573	-0.0999	11.656	-0.1247
11.725	-0.2094	11.7251	-0.1418	11.78	-0.1163
11.808	0	11.877	0.0762	11.919	0.057
11.988	0.1354	12.043	0.0673	12.113	0.0865

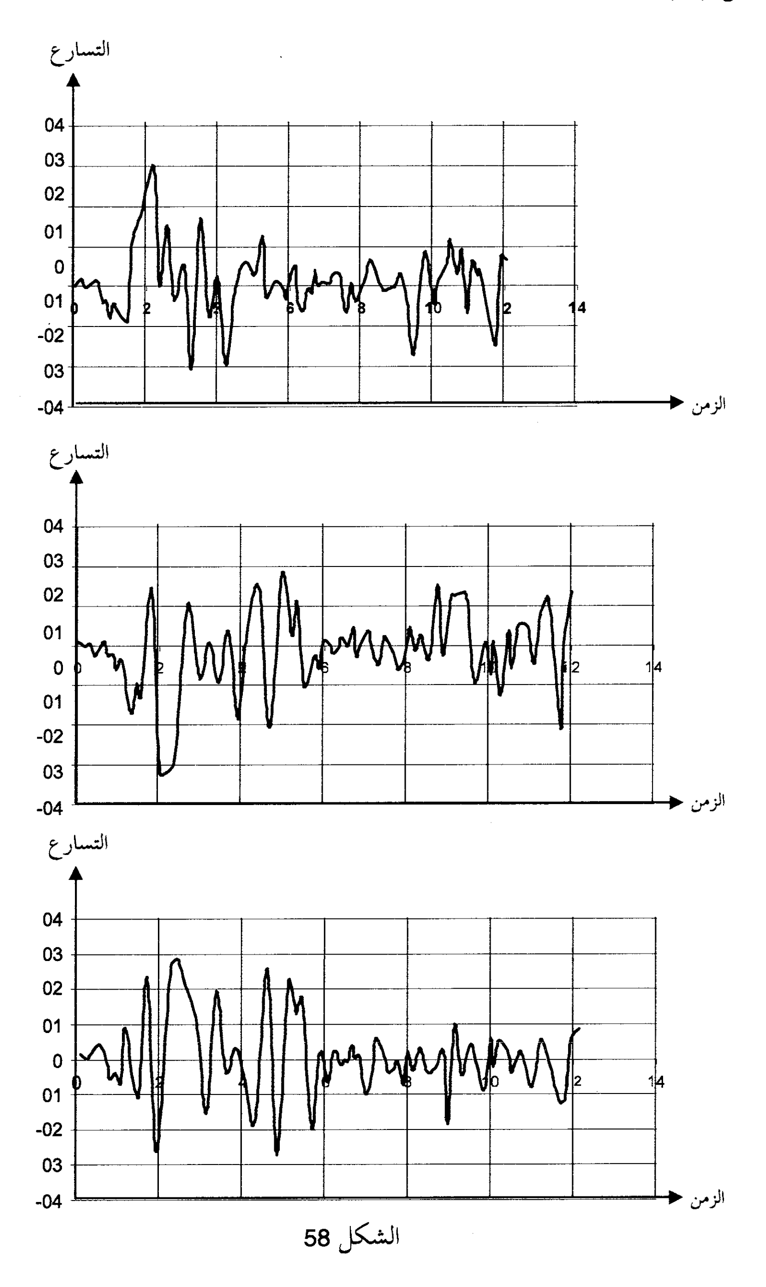


الشكل 57 ـ أطياف استجابة التسارع لعدة زلازل قوية مقارنة بالزلزال إلسنترو

1 ـ زلزال بوخاريست (4 / 3 / 1977). 2 ـ زلزال إلسنترو (18 / 5 / 1940).

3 ـ زلزال مكسيكو (19 / 9 /1985). 4 ـ زلزال تيسالونكي (19 / 9 / 9).

وتمثل قيم الجدول السابق في كل عمودين ثنائية من الزمن والتسارع يمكن رسمها بيانيا كما في الشكل (58).



الشكل 58

3 ـ 1 ـ 3 ـ 2 تحميل الإطار بالتابع المرجعي إلسنترو ELCENTRO FUNCTIONS

تساعد هذه الطريقة في التحليل على تحميل المنشأ بتسارع هزة أرضية فعلية من خلال عدة وسائط الغاية منها إدخال سجل رقمي للتسارعات الأرضية خلال فترة زمنية محددة ودراسة استجابة المنشأ لها.. ويتم ذلك كما يلي:

1 ـ قم بإلغاء التحليل في المسألة السابقة بفتح القفل من الأيقونة (Lock / Unlock Model)، ثم احفظ الملف بالضغط على المفتاح (F12) باسم جديد وليكن (Dynamic 2).

2 ـ اختر من قائمة (Define) الأمر (Time History Functions ـ توابع السجل الزمني) لتحصل على صندوق حوار بعنوان (Define Time History Functions ـ تحديد توابع السجل الزمني).

3 ـ قم بنسخ ملف (ELCENTRO) الموجود في مجلد الأمثلة (Examples) ضمن مجلد برنامج (SAP 2000n)، ثم الصقه في المجلد الذي حفظ فيه ملف المثال (Dynamic 2). أو احفظ هذا الملف في مجلد الأمثلة (Examples) ضمن مجلد برنامج (SAP 2000n).

4 ـ اختر الأمر (Add Function From File ـ إضافة تابع من ملف) لتحصل على صندوق الحوار (59).

Time History Function Definition

Function Name: ELCENTRO

Function File

Open File

elcentro

Number of Points per Line: 3

Function at equal time step of

Time and Function Values

OK Cancel

الشكل 59

5 ـ قم بتسمية التابع باسم (Function Name = ELCENTRO) ثم أدخل القيمة (3) لعدد النقاط في السطر (Number of Points per Line = 3).. وقم بعدها بتفعيل خيار (Time And Function Values) لأن التابع المختار يمثل علاقة رقمية بين التسارع والزمن. ثم اضغط (OK) لإغلاق كافة صناديق الحوار.

6 ـ اختر من قائمة (Define) الأمر (Time History Cases ـ حالات السجل الزمني لتعريف خصائص السجل الزمني) لتحصل على صندوق حوار بعنوان (Define Time History Cases Data ـ بيانات حالات السجل الزمني) كما في الشكل (60).

الشكل 60

7 ـ عدل اسم الحالة (Time History Name) أو حافظ على الاسم التلقائي (HIST 1).

8 ـ اضغط في صندوق الحوار السابق الزر (Modify Show) لإدخال قيم التخامد في صندوق الحوار (Modal Damping ـ التخامد النمطي). ثم أدخل قيمة التخامد (0.05) لكافة الأنماط كما في الشكل (61).. واضغط (OK) للعودة لصندوق الحوار (60).

الشكل 61

9 ـ أدخل في صندوق الحوار (59) القيمة (500) عند الخيار (Number Of Output Time Steps ـ عدد الخطوات الزمنية من أجل الإخراجات). ثم أدخل القيمة (0.02) عند الخيار (Output Time Step Size ـ للتعبير عن طول الخطوة الزمنية).

نحصل من الوسيطين السابقين على طول السجل الزمني للهزة (500 x 0.02 = 10 sec).

ومن أجل الاستزادة في الإيضاح راجع الفقرات (2 ـ 4 ـ 3 ـ 4) و (2 ـ 4 ـ 3 ـ 5) و (2 ـ 4 ـ 4 ـ 3) و (2 ـ 4 ـ 4 ـ 4).

10 ـ اختر في صندوق الحوار (60) نمط التحليل الخطي (Analysis Type = Linear). مع الإشارة إلى أن هذا الخيار يحتوي على ثلاث حالات شرحت في الفقرة (2 ـ 4 ـ 3) من الفصل الثاني.

اختر بعد ذلك من خيار (Load) حالة (acc dir 1) والذي يعبر عن التسارع الأرضي في اتجاه المحور (X) العام. وكذلك اختر في قائمة (Function) حالة (ELCENTRO).. وأدخل

قيمة الجاذبية الأرضية (9.81) عند خيار (Scale Factor).

11 ـ اضغط (Add) لإضافة البيانات السابقة ثم (OK) لإغلاق صندوق الحوار (60).

ـ ملاحظة:

تم شرح كيفية إدخال التوابع في البند (2) من الفقرة (2 ـ 4 ـ 3 ـ 1) في الفصل الثاني.

3 ـ 1 ـ 3 ـ 3 تنفيذ التحليل وقراءة بعض النتائج

1 ـ تأكد من أن نوع التحليل ما زال كما في حالة التحليل السابقة:

(ضع إشارة تحقق بجانب الخيار Dynamic Analysis) → Analyze → Set Options → XZ Plane

→ (تحصل على صندوق الحوار 45) → Set Dynamic Parameters →

أدخل عدد أنماط الاهتزاز مساويا لعدد الطوابق (9) وحافظ على بقية المعطيات الافتراضية ثم اضغط (OK)

2 ـ اختر الأمر (Run Minimized = Shift + F5) لتنفيذ التحليل.

3 ـ تأكد من عدم وجود أخطاء أو تحذيرات وحاول مراجعة نتائج هذه العملية.

4 ـ اختر من قائمة (Display) الأمر (Show Mode Shape) لعرض أنماط الاهتزاز تحت حالة التحميل (HIST 1)، وضع في صندوق الحوار (Mode Shape) الناتج إشارة تحقق بجانب خياري (Wire Shape) و (Cubic Curve) ثم اضغط (OK) لمعاينة النمط الأول.

5 ـ اضغط السهم المتجه نحو اليمين بجانب أمر (Start Animation) أسفل الشاشة، لمعاينة نمط التشوه الثاني. وكرر ذلك لكافة الأنماط كما في الحالة السابقة.

6 ـ ضع مؤشر الماوس فوق أية عقدة من الشكل المشوه أو من أي نمط واضغط بالزر الأيمن لقراءة الانتقالات والدورانات في هذه العقدة.

3 ـ 1 ـ 3 ـ 4 استعراض آثار السجلات الزمنية للهزة

أولا ـ معاينة آثار القص القاعدي:

1 ـ اختر من قائمة (Display) الأمر (Show Time History Traces = Shift + F11 ـ عرض آثار السجل الزمني للهزة) لتحصل على صندوق الحوار (Time History Display Definition) المبين في الشكل (62).

Time History Display Definition

1 F(t)s vs t
2 F(t) vs F(t)
Time History Case 3 HIST1
4 Choose Functions
5 List of Functions
Base Shear X
9 Plot Functions
6 Add ->
7 <- Remove
8 Show
10 Time Range
From 0.
To 10.
11 Default
12 Axis Range Override
13 Horizontal Define
14 Vertical Define
15 Define Functions
17 Line Options
18 Solid 19 Dashed 20 Dotted
16 Axis Labels
Horizontal
Vertical
21 Line Color
Color
22 ScaleFactor
Grid Overlay
23 Display
Done

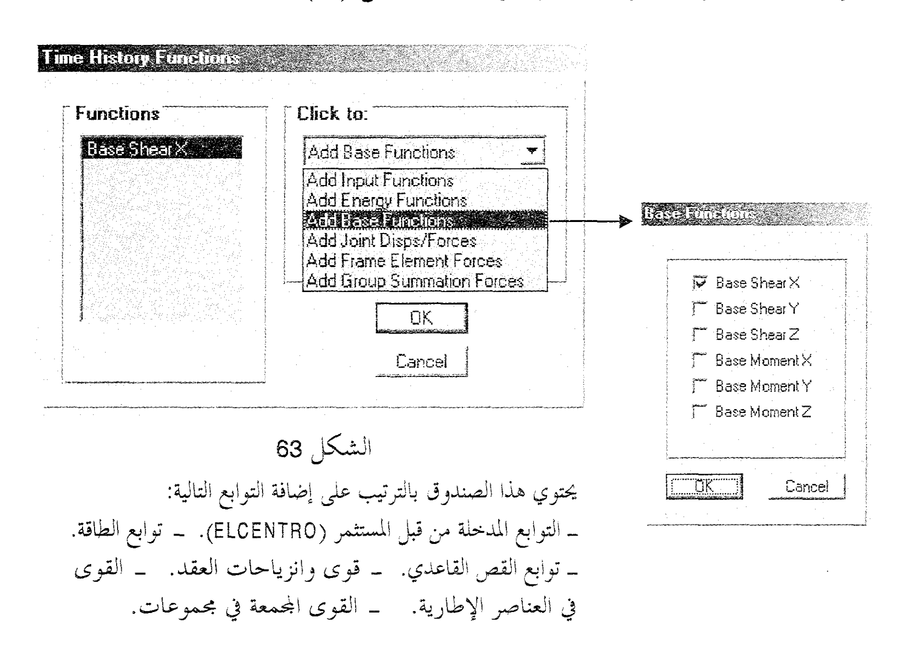
الشكل 62

1 ـ التابع المختار. **2 ـ التابع المنسوب لرسم منحني بياني بدلالة أي متحولين مختارين** (انظر الفقرة 2 ـ 4 ـ 3 ـ 1 من الفصل الثاني). 3 ـ اسم السجل الزمني. **4 ـ التوابع المختارة.** 5 ـ قائمة التوابع. 6 ـ إضافة تابع مختار من الخيار (5) إلى القائمة (9). 7 ـ حذف تابع مختار في القائمة (9) وإعادته للقائمة (5). 8 ـ إظهار تابع غير تلقائي مختار في القائمتين (5 أو 9). 9 ـ رسم تابع مختار من هذه القائمة بالضغط على الأمر (23) . 10 ـ الحدود الزمنية. 11 ـ افتراضية. **12 ـ لتعيين مقياس رسم التابع.** 13 ـ باتجاه المحور الأفقي. 14 ـ باتجاه المحور العمودي. 15 ـ تحديد تابع لإضافته إلى القائمة (5). **16 ـ تسمية محاور رسم التابع** (يمكن أن يأخذ البرنامج الفونت العربي على المحور الأفقي). **17 ـ خيارات خط رسم التابع.** 18 ـ خط مستمر. 19 ـ خط متقطع. 20 ـ خط منقط. 21 ـ لون خط الرسم (يفتح لوح الألوان). 22 ـ معامل تكبير. 23 ـ إظهار رسم التابع المختار من القائمة (9).

2 ـ استعرض آثار القص القاعدي الناتج عن تطبيق الهزة (ELCENTRO) المختارة بالضغط على الزر (Define Functions) في صندوق الحوار السابق. فيفتح صندوق الحوار الفرعي الموضح في القسم الأيسر من الشكل (63).

ـ اختر من الناحية (Click to) الخيار (Add Base Functions) فيفتح صندوق حوار فرعي آخر كما في القسم الأيمن من الشكل (63).

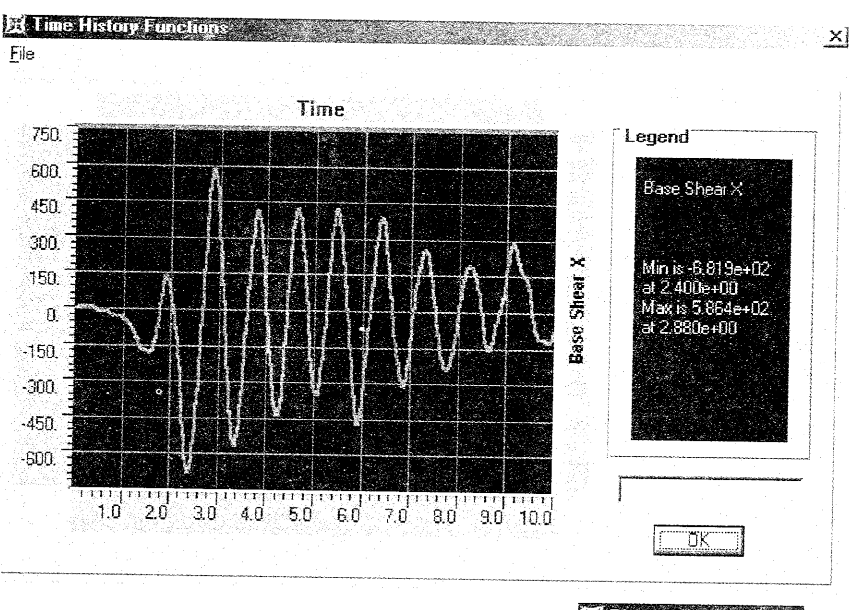
ـ ضع إشارة تحقق بجانب (Base Shear X ـ القص القاعدي في الاتجاه X) ثم اضغط (OK) مرتان لإغلاق الصندوقين الموضحين والعودة إلى الشكل (62).



الشكل 63

يحتوي هذا الصندوق بالترتيب على إضافة التوابع التالية:
ـ التوابع المدخلة من قبل المستثمر (ELCENTRO). ـ توابع الطاقة.
ـ توابع القص القاعدي. ـ قوى وانزياحات العقد. ـ القوى في العناصر الإطارية. ـ القوى المجمعة في مجموعات.

3 ـ نلاحظ بالعودة إلى الشكل (62) أن التابع (Base Shear X) قد أصبح ضمن القائمة رقم (5) (List of Functions) .. وبعد التأكد من اختياره أو تفعيله اضغط في الشكل المذكور زر (Display) رقم (23) للحصول على المخطط البياني الموضح في الشكل (64) والذي يمثل تغير القص القاعدي بالنسبة للزمن.



Time History Function
File

- Print Setup... — إعدادات الطابعة.
- Print Graphics — طباعة المخطط البياني على الورق.
- Print Tables — طباعة القيم الرقمية المخطط على الورق.
- Print Tables to File... — طباعة أو حفظ قيم الجدول على ملف آخر (كملفات برنامج Excel مثلا)

الشكل 64 ـ المخطط البياني لتغير القص القاعدي في الاتجاه X مع الزمن.

وتحتوي قائمة (File) على الخيارات التالية:

ـ إن استخدام الخيار الأخير في قائمة (File) من الشكل (64) (Print Tables to file) يعطينا (500) قيمة تمثل (10 ثواني) كل منها (0.02) ثانية.

نوضح في الجدول التالية مثالا على استعمال الخيار المذكور لطباعة الجدول على ملف من ملفات برنامج (Word) مثلا.

ولكن باعتبار أن هذه النتائج كثيرة جدا، فقد قمنا بحذف كافة القيم ما عدا القيم التي تتراوح بين (0) و (10) ثانية مقسمة كل (1 ثانية). والهدف من ذلك إظهار شكل النتائج فقط بالطريقة المذكورة.

SAP2000 v7.21 File: DYNAMIC2 Ton-m Units PAGE 1	
TIME HISTORY DATA	
FUNCTION Base Shear X: Base Shear X	
TIME	FUNCTION Base Shear
0	0
1	-36.2299
2	76.79153
3	386.4199
4	15.78515
5 -	324.8518
6 -	384.9193
7 -	133.5133
8	-15.484
10	-81.0595

ـ ملاحظة:

يمكن تعديل ألوان المخطط السابق من خلال لوح الألوان الذي نحصل عليه من الخيار رقم (21) في الشكل (62).

ثانيا ـ معاينة انتقالات العقد الناجمة عن الهزة المطبقة على الإطار:

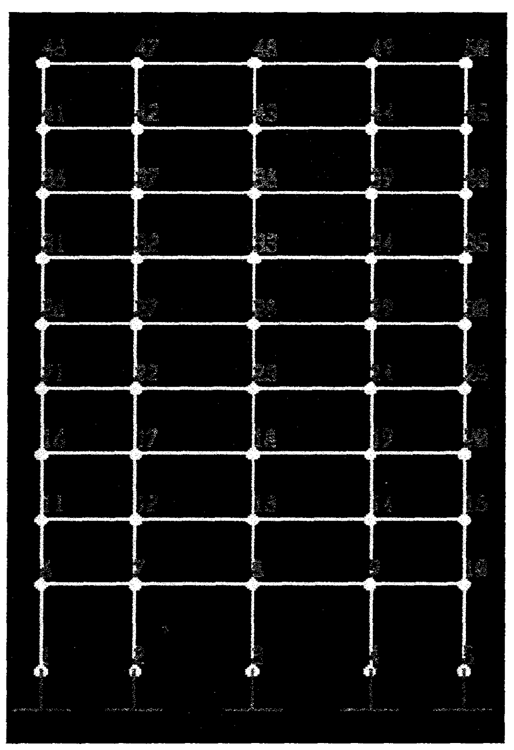
1 ـ أغلق كافة صناديق الحوار المفتوحة.

2 ـ اختر كافة عقد المنشأ، ثم غير أرقامها بدءا من الرقم (1) من أمر (Change Labels) في قائمة (Edit) لتصبح الأرقام كما في الشكل (65).

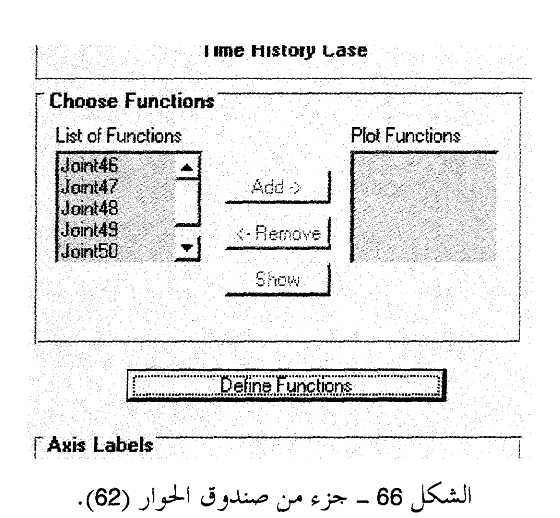
3 ـ يمكن معاينة أي عدد من العقد.. اختر مثلا العقد الأربع العليا (46 ـ 50).

4 ـ اختر من قائمة (Display) الأمر (Show Time History Traces = Shift + F11 ـ عرض آثار السجل الزمني للهزة) لتحصل على صندوق الحوار (Time History Display Definition) المبين في الشكل (62) السابق.

ـ لاحظ أن أرقام العقد المختارة قد أضيفت إلى القائمة (List of Functions) في صندوق الحوار المذكور كما في الشكل (66).



الشكل 65



الشكل 66 ـ جزء من صندوق الحوار (62).

5 ـ اختر أية عقد من العقد السابقة ولتكن العقدة رقم (46).. ثم اضغط (Add) لتضاف إلى قائمة (Plot Functions).

6 ـ اضغط في صندوق الحوار (66) زر (Define Functions) لتحصل على صندوق الحوار الفرعي (67).

Time History Functions

Functions	Click to:
Joint46 Joint47 Joint48 Joint49 Joint50	Add Joint Disps/Forces Modify/Show TH Function Delete TH Function OK Cancel

الشكل 67

7 ـ قم بحذف (Base Shear X) ... ثم اختر العقدة رقم (46) واضغط (Modify / Show TH Function) لتعديل أو معاينة خيارات الانتقالات لهذه العقدة خلال الهزة من خلال صندوق فرعي آخر يظهر في الشكل (68).

يعطي هذا الصندوق الانتقالات والسرعات والتسارعات المطلقة والنسبية وردود الأفعال في المساند والنوابض حسب الأنماط وتراكيبها).

فعل بعد ذلك الخيارين (Displ) و (UX).

8 ـ اضغط (OK) في صندوق الحوار السابق للموافقة على إظهار نتائج الانتقالات النسبية في الاتجاه (X)، ثم أغلق صندوق الحوار (67) للعودة إلى الشكل (66).

9 ـ اضغط زر (Display) في الصندوق الأخير لتحصل على المخطط البياني لانتقالات العقدة (65) خلال فترة الهزة كما في الشكل (69).

Time History Joint Function

Function Name: Joint46

Joint ID: 46

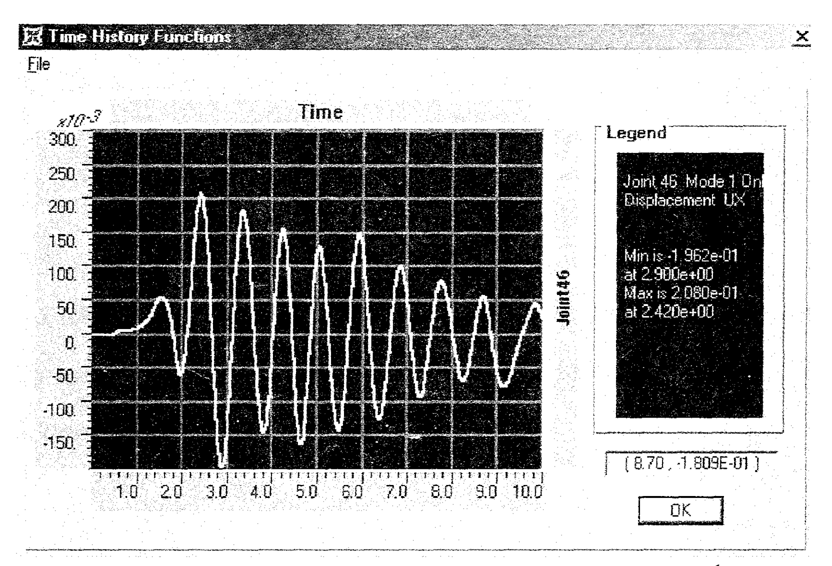
Vector Type: Displ / Abs Displ / Vel / Abs Vel / Accel / Abs Accel / Spring Force / Reaction

Mode Number: Include all / Include one

Component: UX / RX / UY / RY / UZ / RZ

OK / Cancel

الشكل 68 ـ انظر الفقرة (2 ـ 4 ـ 3 ـ 6) من الفصل الثاني.



الشكل 69 ـ المخطط البياني لتغير الانتقالات في الاتجاه X للعقدة (46) مع الزمن.

وتحتوي قائمة (File) على الخيارات المذكورة في الشكل (63).

وكما سبق في القص القاعدي نورد في الجدول التالي مثالا عن النتائج كل ثانية واحدة:

SAP2000 v7.21 File: DYNAMIC2 Ton-m Units PAGE 1	
TIME HISTORY DATA	
FUNCTION Joint46: Joint46 Mode 1 Only Displacement UX	
TIME	FUNCTION Joint 46
0	0
1	0.00921
2	-0.05711
3	-0.14563
4	-0.01815
5	0.12323
6	0.13154
7	0.04864
8	0.00619
9	-0.05572
10	0.02156

10 ـ يمكن تكرار الخطوات (5 وحتى 9) السابقة على بقية العقد (47 ـ 50) المختارة.

ـ ملاحظة:

يمكن معاينة المخطط البياني لانتقالات أية عقدة بدون اختيارها على الشاشة، إذ يكفي إدخال رقم العقدة (Joint ID) في صندوق الحوار (68) مع نمط الشعاع (Vector Type = Displ) واتجاهه (Component = UX) مثلا.

ثالثا ـ معاينة تغير الأفعال الداخلية للعناصر الإطارية خلال فترة تطبيق الهزة:

1 ـ أغلق كافة صناديق الحوار المفتوحة.

2 ـ اختر كافة عناصر المنشأ (Ctrl + A)، ثم غير أرقامها بدءا من الرقم (1) من أمر (Change Labels) في قائمة (Edit) لتصبح الأرقام كما في الشكل (70).

الشكل 70

3 ـ يمكن معاينة تغير القوى المحورية أو القص أو عزوم الفتل والانعطاف في أي مقطع من أي عنصر.. اختر مثلاً العنصر رقم (1).

4 ـ اختر من قائمة (Display) الأمر (Show Time History Traces = Shift + F11) لتحصل على صندوق الحوار (Time History Display Definition) المبين في الشكل (62) السابق. ولاحظ أن هذا العنصر قد أضيف إلى القائمة (List of Functions) في صندوق الحوار المذكور كما في الشكل (66) السابق.

5 ـ اضغط في صندوق الحوار (66) زر (Define Functions) لتحصل على صندوق الحوار الفرعي (Time History Function) كما في الشكل (67) السابق.

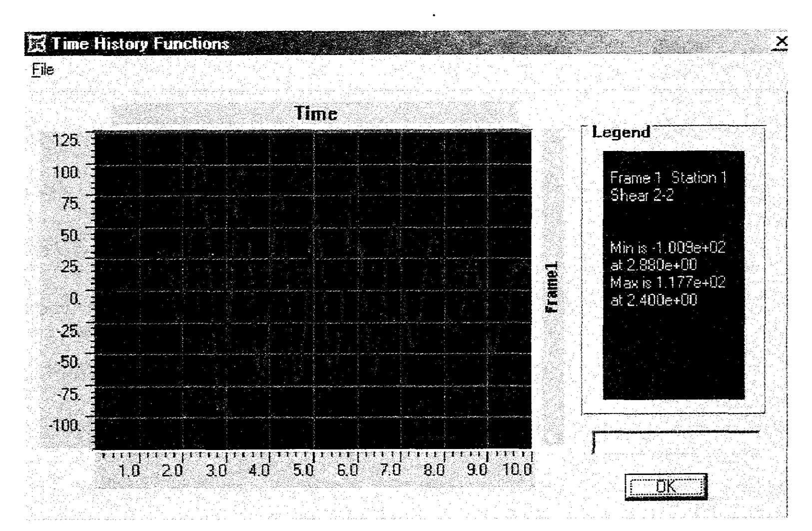
6 ـ قم بحذف أرقام العقد المدخلة سابقاً ثم اختر العقدة رقم (46) ثم اضغط (/ Modify Show TH Function) لتعديل أو معاينة خيارات الأفعال الداخلية للعنصر المختار خلال الهزة من خلال صندوق فرعي آخر يظهر في الشكل (71).

- فعّل الخيار (Shear 2-2) والمحطة رقم (1) - (Station 1) ثم اضغط (OK).

Time History Frame Function
Function Name Frame1
Element ID 1
Component
Axial Force
Torsion
Shear 2-2
Moment 2-2
Shear 3-3
Moment 3-3
Mode Number
Include all
Include one
Location
Station 1
OK
Cancel

الشكل 71

7 - اختر هذا العنصر في صندوق الحوار (Time History Display Function) الزر (Display) لتحصل على المخطط البياني لتغير القص في المقطع المختار من العنصر (1)، خلال فترة الهزة كما في الشكل (72).



الشكل 72

8 ـ يمكن تكرار الخطوات (5 وحتى 9) السابقة على بقية العقد (47 ـ 50) المختارة.

ـ ملاحظة:

يمكن معاينة المخطط البياني لأي عنصر بدون اختياره على الشاشة، إذ يكفي إدخال رقم هذا العنصر (Element ID) في صندوق الحوار (71) مع نوع الفعل الداخلي المطلوب (Component).

9 ـ استعرض مخططات الطاقة كما يلي:

Display → Show Time History Traces = Shift + F11 → Define Functions →

Click to → Energy Functions → (صندوق الحوار 73) → OK

Energy Functions

- Input Energy
- Kinetic Energy
- Potential Energy
- MDamp Energy
- NDamp Energy
- NLLink Energy
- Energy Error

OK Cancel

الشكل 73

ـ Input Energy الطاقة الداخلة.

ـ Kinetic Energy الطاقة الحركية.

ـ Potential Energy الطاقة الكامنة.

ـ M Damping Energy طاقة التخامد المبددة.

ـ N Damping Energy طاقة التخامد المبددة.

ـ NL Link Energy طاقة عناصر الربط اللاخطي.

ـ Energy Error الخطأ في الطاقة.

تستخدم مخططات الطاقة لمعاينة النسب المئوية للعمل الفعلي (Virtual Work) المبذول بالنسبة لطاقة العناصر في وضع الراحة في العناصر.. ويمكن استخدام هذه الخاصة لتخفيض انحراف المنشأ من معرفة العناصر ذات النسبة الأعلى من الطاقة المذكورة وذلك من خلال تعديل قساواتها.

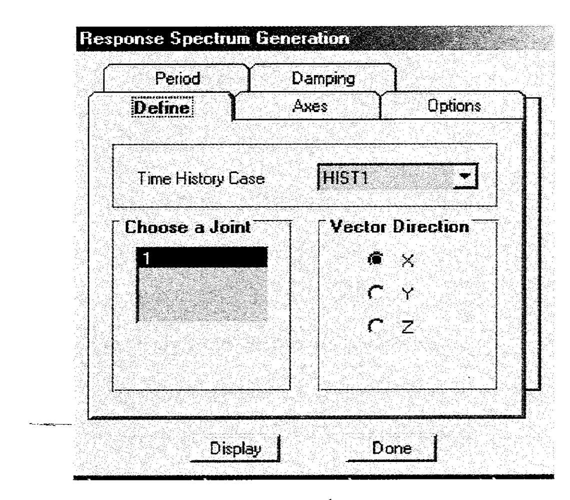
3 ـ 1 ـ 3 ـ 5 إنشاء طيف الاستجابة وتحميل المنشأ به

أولا ـ كيفية رسم طيف الاستجابة:

من أجل رسم طيف الاستجابة للزلازل إلسنترو تحت تخامد قدره (0.05) اختر أية عقدة من المنشأ ولتكن العقدة رقم (1) المبينة في الشكل (65).

ثم اختر من قائمة (Display) الأمر (Show Response Spectrum Curves ـ إظهار منحنيات طيف الاستجابة) لتحصل على صندوق حوار بعنوان (Response Spectrum Generation ـ توليد طيف الاستجابة). والذي يحتوي على خمسة خيارات كما يلي:

1 ـ الخيار (Define) لعرض منحنيات طيف الاستجابة المولدة ـ الشكل (74):



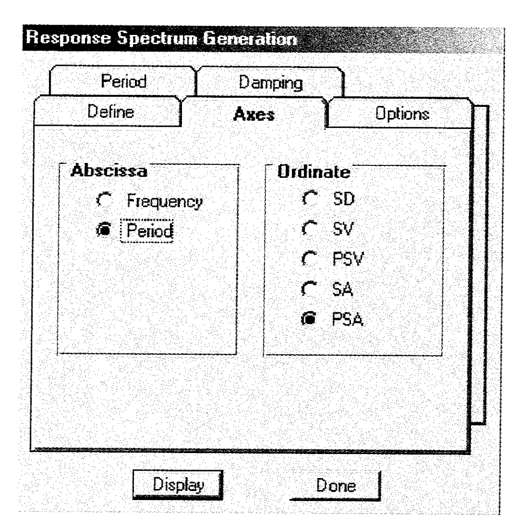
الشكل 74

حدد في هذا الخيار اسم حالة السجل الزمني (Time History Case = HIST 1)، ثم فعل الاتجاه الشعاعي للتسارع في الاتجاه (X).. (Vector Direction = X).

2 ـ الخيار (Axes) لتعريف أسماء محاور مخطط طيف الاستجابة المولد ـ الشكل (75):

حدد الدور (Period) في هذا الخيار على محور الفواصل (السينات)، والتسارع شبه الطيفي (PSA) على محور التراتيب (العينات).

ـ شرحت بقية الخيارات على الشكل (75).



الشكل 75

(Abscissa) ـ الفواصل أو السينات.

(Frequency) ـ التواتر أو التردد.

(Period) ـ الدور.

(Ordinate) ـ التراتيب أو العينات.

(SD = Spectral Displacement) ـ الانزياح الطيفي.

(SV = Spectral Velocity) ـ السرعة الطيفية.

(PSV = Pseudo Spectral Velocity) ـ السرعة شبه الطيفية.

(SA = Spectral Acceleration) ـ التسارع الطيفي.

(PSA = Pseudo Spectral Acceleration) ـ التسارع شبه الطيفي.

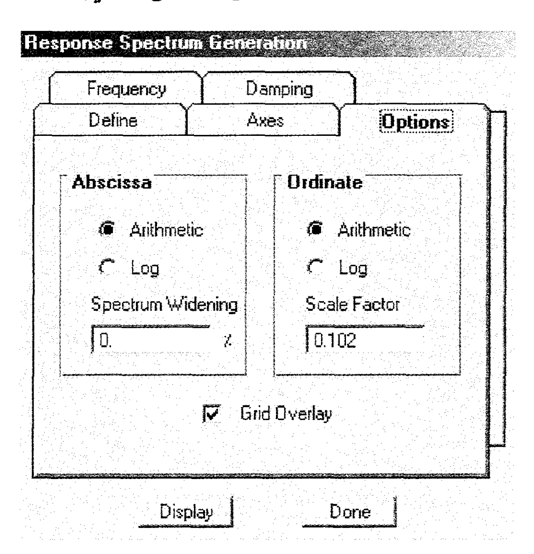
3 ـ الخيار (Options) لتحديد نوع الرسم البياني ـ الشكل (76):

ـ حدد في هذا الخيار المقياس العشري لمحوري السينات والعينات.

ـ حافظ على القيمة الافتراضية للوسيط (Spectrum Widening) بنسبة (0 %).

ـ استبدل القيمة الافتراضية للوسيط (Scale Factor) بـ (1 / g = 1 / 9.81 = 0.0102).

والسبب في اختيار هذه القيمة هو أننا اعتبرنا أن الحمولة الطيفية المستخدمة للحصول على الاستجابة الطيفية قد ضربت بمعامل التصعيد (g = 9.81)، ولذلك تم التقسيم على القيمة المذكورة هنا. (انظر الفقرة 2 ـ 4 ـ 2 ـ 2 من الفصل الثاني).



الشكل 76

(Abscissa) ـ الفواصل أو السينات.

(Ordinate) ـ التراتيب أو العينات.

(Arithmetic) ـ مقياس عشري.

(Log) ـ مقياس لوغاريتمي.

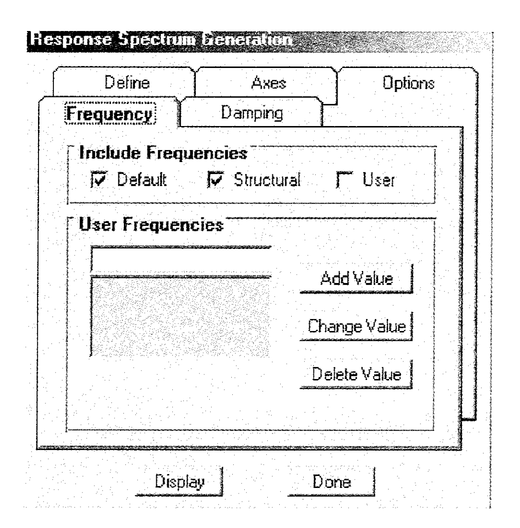
(Spectrum Widening) ـ اتساع الطيف على محور السينات، لزيادة عرض مجالات قيم الذروات (Peaks).

(Scale Factor) ـ معامل التصعيد (مقلوب الجاذبية في مسألتنا).

(Grid Overlay) ـ لإظهار وإخفاء شبكة المخطط البياني.

4 ـ الخيار (Frequency) لتحديد خيارات التواتر أو التردد ـ الشكل (77):

ضع إشارة تحقق هذا الخيار بجانب (Default ـ الخيار الافتراضي المخصص لتوليد الأدوار من قبل البرنامج). و(Structural الخيار المخصص لتوليد الأدوار الطبيعية للمنشأ).



الشكل 77

(Include Frequency) ـ لتحديد الترددات المضمنة.

(Default) ـ خيار افتراضي مخصص لتوليد الأدوار من قبل البرنامج.

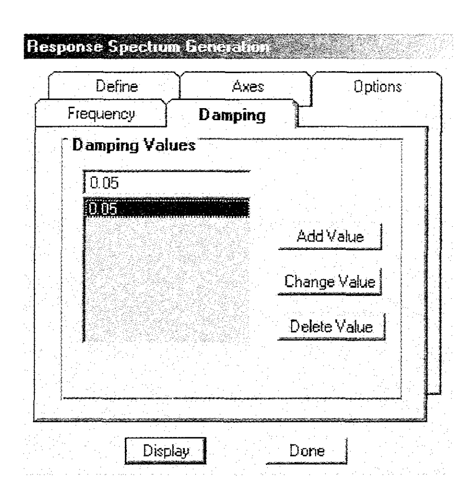
(Structural) ـ خيار مخصص لتوليد الأدوار (أو التواترات) الطبيعية للمنشأ.. ويعمل بقاء هذا الخيار مفعلا على دمج التواترات المذكورة مع التواترات المستخدمة في توليد طيف الاستجابة.

(User) ـ خيار مخصص لتوليد الأدوار من قبل المستثمر، وذلك من خلال إدخال قيم التواترات أو الترددات في خانة (User Frequency) ، ومن ثم الضغط على الزر (Add).

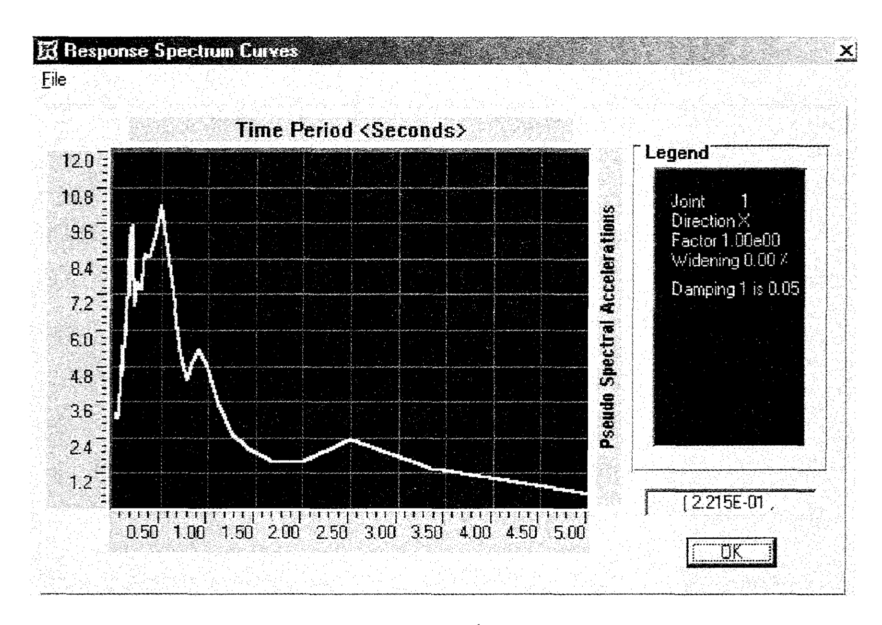
5 ـ الخيار (Damping) لتعيين التخامد في المخطط الطيفي المولد ـ الشكل (78):

احذف من هذا الخيار كافة قيم التخامد الموجودة باستثناء القيمة (0.05).

6 ـ اضغط زر (Display) لمعاينة طيف الاستجابة للزلازل إلسنترو تحت تخامد قدره (0.05) كما في الشكل (78 ـ 1).. قارن مع الشكل (57).



الشكل 78



الشكل 78 ـ 1

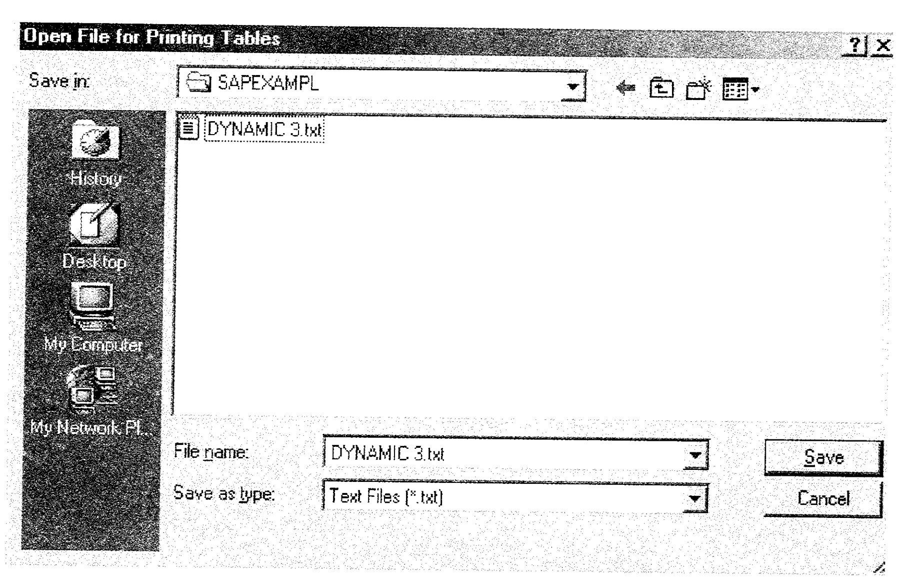
تحتوي نافذة (Legend) على المعلومات التالية حسب تسلسلها في الشكل:

ـ رقم العقدة المختارة. ـ المحور المختار للتسارع. ـ مقياس الرسم.

ـ اتساع أو تعريض التردد (نسبة مئوية). ـ معامل التخامد.

ثانيا ـ تحميل المنشأ بطيف الاستجابة:

1 ـ افتح قائمة (File) في الشكل السابق واختر الأمر (Print Tables to file). ثم قم بحفظ بيانات المخطط كملف نصي باسم (Dynamic 3) ولاحقة (txt) في نفس المكان الذي يوجد في الملف (Dynamic 2 . SDB) كما في الشكل (79)... فإن لم يتم حفظ الملفين المذكورين (باللاحقتين SDB و txt) في نفس الموقع أو المجلد فإن البرنامج لا ينجز التحليل.

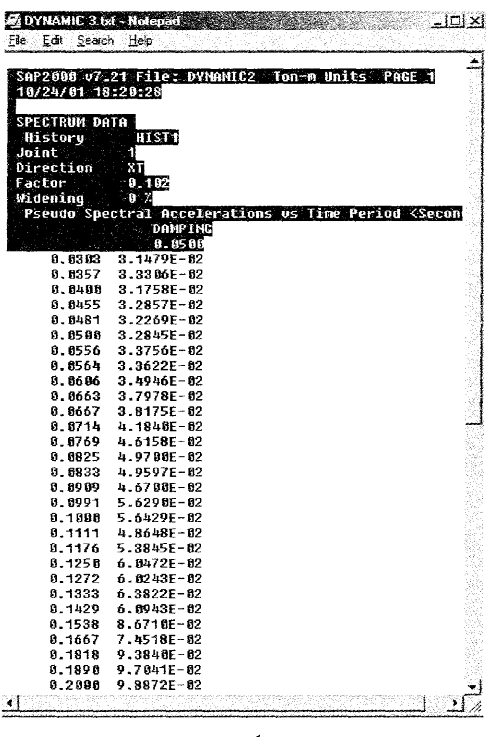


الشكل 79

2 ـ قم بفتح الملف النصي السابق بواسطة المفكرة (Notepad) أو بواسطة الدفتر (Wordpad) كما في الشكل (80). ثم قم بحذف السطور المختارة في هذا الشكل لكي تبقى المعطيات العددية فقط.

3 ـ قم بإلغاء التحليل لتحرير المسألة بفتح أيقونة القفل.

4 ـ اختر من قائمة (Define) الأمر (Response Spectrum Functions) ثم اضغط الزر (Add Function From File).



```
DYNAMIC 3.txt - Notepad
File  Edit  Search  Help

SAP2000 v7.21 File: DYNAMIC2  Ton-m Units  PAGE 1
10/24/01 18:20:28

SPECTRUM DATA
 History        HIST1
Joint           1
Direction       XT
Factor          0.102
Widening        0 %
 Pseudo Spectral Accelerations vs Time Period <Secon
                    DAMPING
                    0.0500
      0.0303   3.1479E-02
      0.0357   3.3306E-02
      0.0400   3.1758E-02
      0.0455   3.2857E-02
      0.0481   3.2269E-02
      0.0500   3.2845E-02
      0.0556   3.3756E-02
      0.0564   3.3622E-02
      0.0606   3.4946E-02
      0.0663   3.7978E-02
      0.0667   3.8175E-02
      0.0714   4.1840E-02
      0.0769   4.6158E-02
      0.0825   4.9700E-02
      0.0833   4.9597E-02
      0.0909   4.6700E-02
      0.0991   5.6290E-02
      0.1000   5.6429E-02
      0.1111   4.8648E-02
      0.1176   5.3845E-02
      0.1250   6.0472E-02
      0.1272   6.0243E-02
      0.1333   6.3822E-02
      0.1429   6.0943E-02
      0.1538   8.6710E-02
      0.1667   7.4518E-02
      0.1818   9.3840E-02
      0.1890   9.7041E-02
      0.2000   9.8872E-02
```

الشكل 80

ـ أدخل في صندوق الحوار (81) الناتج اسم التابع الجديد (RESELCEN).

Response Spectrum Function Definition

Function Name: RESELCEN

Function File

Open File

dynamic 3.txt

Number of Points per Line: 1

Function at equal period step of

Period and Acceleration Values

OK Cancel

الشكل 81

ـ اضغط الزر (Open File) ثم اختر الملف (Dynamic 3 . txt).

ـ اترك عدد النقاط في السطر مساوية للواحد (Number of Period per Line = 1).

ـ فعل الخيار (Period and Acceleration Values).

ـ اضغط (OK) لتلاحظ أن التابع المذكور قد أضيف إلى قائمة التوابع في صندوق الحوار (Define Response Spectrum Functions) ثم أغلق الصندوق.

5 ـ اختر من قائمة (Define) الأمر (Response Spectrum Cases) ثم اضغط في صندوق الحوار (Response Spectrum Case Data) الناتج، الخيار (Add New Spectra).

ـ أدخل البيانات الموضحة في الشكل (82)، ثم أغلق كافة صناديق الحوار.

Response Spectrum Case Data

Spectrum Case Name SPEC2

Excitation angle 0.

Modal Combination

CQC SRSS ABS GMC

Damping 0.05

F1 F2

Directional Combination

SRSS

ABS Scale Factor

Input Response Spectra

Direction	Function	Scale Factor
U1	RESELCEN	9.81
U2		
U3		

OK Cancel

الشكل 82

6 ـ احفظ المسألة باسم جديد وليكن (Dynamic 3). وحافظ على نوع التحليل من خيار (Set Options) في قائمة (Analyze) كما في الحالة السابقة، ثم ابدأ عملية التحليل.

7 ـ عاين النتائج كما سبق وقارن قيم القص القاعدي وانتقال العقد العليا للإطار مع الحالات السابقة.

ـ ملاحظة هامة:

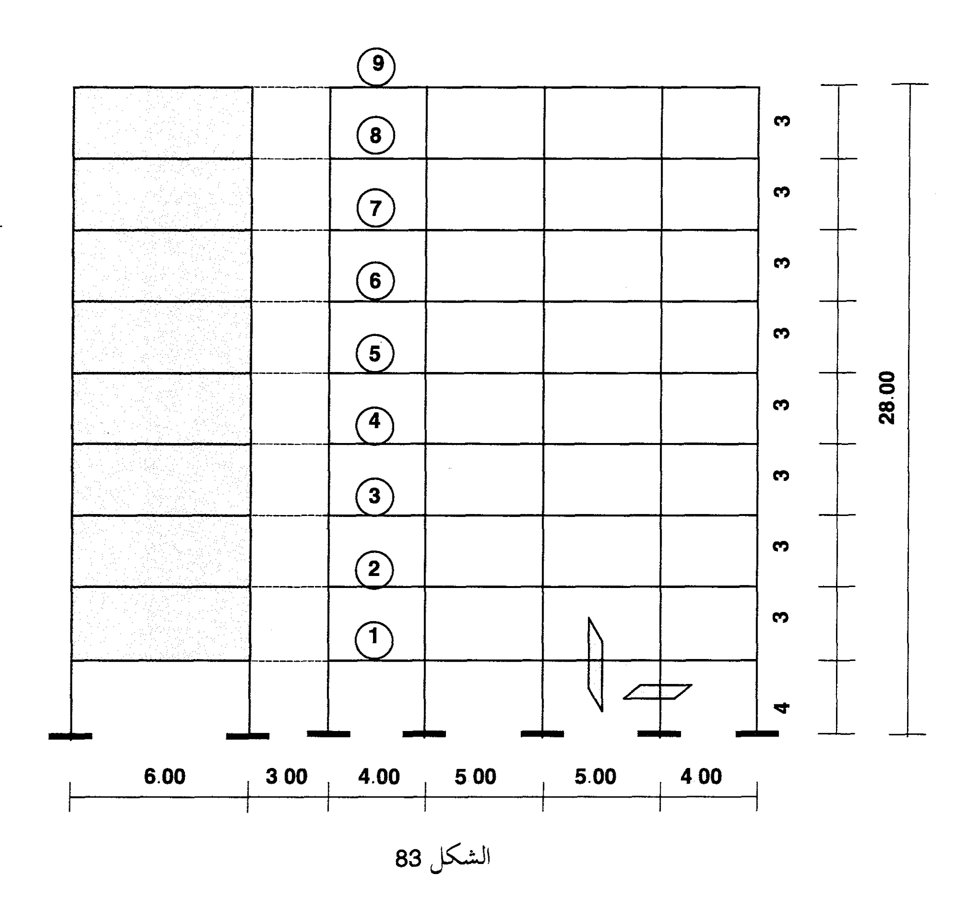
يوضح المثال السابق كيف أن تحليل طيف الاستجابة (Response Spectrum) يستغرق زمنا أقل من تحليل السجل الزمني (Time History). وقد نجد أن النتائج متقاربة في الحالتين بيد أنه من المهم جدا معرفة متى نستخدم أي منهما. (راجع الجزء الأول من كتاب المنشآت الخرسانية المقاومة للزلازل ـ إصدار دار دمشق 2000).

3 ـ 2 مثال 2 ـ تحليل جملة مشتركة وتصميم العناصر الإطارية

يطلب تحليل الجملة المعطاة في الصفحة (154) من الفصل الثاني والموضحة في الشكل (83) بطريقة طيف الاستجابة، وذلك وفق التابع (UNIT) مع معامل تصعيد (3) وتخامد (0.07). ومن ثم تصميم عناصر الإطار

- ـ الإطار من الخرسانة المسلحة والواحدات (Ton , m).
- ـ أبعاد كافة الكمرات (B = 0.30 x 0.70 m).
- ـ سماكة الجدار وأبعاد الأعمدة كما في الجدول التالي:

الطابق	اسم العمود	أبعاد المقطع	اسم الجدار	السماكة
1 و 2 و 3	C123	0.30 x 0.80	W123	0.30
4 و 5 و 6	C456	0.30 x 0.70	W456	0.25
7 و 8 و 9	C789	0.30 x 0.60	W789	0.20



الشكل 83

3 ـ 2 ـ 1 نمذجة المنشأ

1 ـ تأكد من الواحدات (Ton . m) ثم ارسم الإطار.

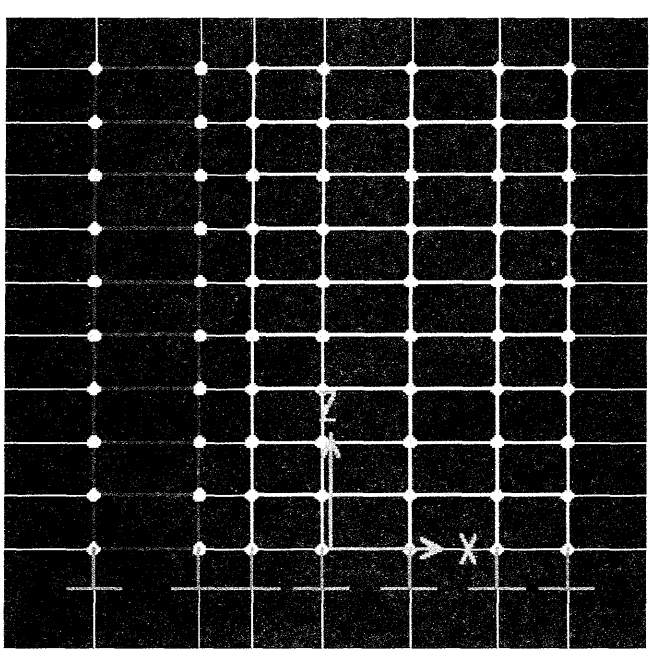
2 ـ عرف المواد والمقاطع من قائمة (Define). ثم قم بتخصيص هذه المقاطع والمساند من قائمة (Assign).. الشكل (84).

2 ـ عين رابط الغشاء الصلب من قائمة (Assign) كما يلي:

ـ اختر كافة عقد الطابق الأول للجدار والإطار بنافذة مطاطية.

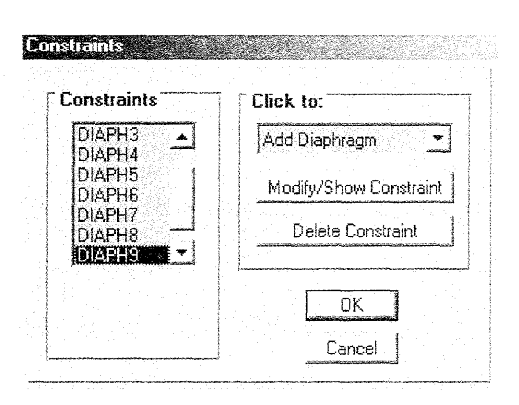
Assign → Joint → Constraints → Click to → Add Diaphragm →

(اختير اسم الرابط أو حافظ على الاسم التلقائي والمحور العمودي عليه Z) → OK → OK



الشكل 84

ـ كرر العملية السابقة على كافة الطوابق حتى الحصول على تسعة روابط كما في الشكل (85).



الشكل 85

3 ـ اختر كامل عناصر الطابق الأول مع عقد المساند التي تقع تحت الطابق المذكور، باستثناء

الكمرات (أي جدار وأعمدة الأول والعقد التي تقع تحتها). ثم أعطها اسم (ALL 1) كما يلي:

Assign → Group Name → ALL 1 → Add New Group Name → OK

وللتأكد من تنفيذ الأمر قم بما يلي:

Select → Select → Groups → ALL 1 → OK

حيث تتفعل العناصر المختارة.

4 ـ طبق البند (3) على كافة مناسيب الطوابق لاختيار (9) مجموعات (ALL1 ـ ALL 9).

5 ـ اختر جدار الطابق الأول مع عقد المساند التي تقع تحته وأعطها بنفس الطريقة المذكورة في البند (3) اسم (GW 1).. وكرر ذلك على بقية الطوابق حتى الحصول على (GW 9).

6 ـ اختر أعمدة إطار الطابق الأول مع عقد المساند التي تقع تحته وأعطها بنفس الطريقة المذكورة في البند (3) اسم (GF 1).. وكرر ذلك على بقية الطوابق حتى الحصول على (GF 9).

7 ـ اختر من قائمة (Define) الأمر (Response Spectrum Cases) لتحصل على صندوق الحوار (Define Response Spectra).

8 ـ اضغط في صندوق الحوار الناتج الخيار (Add New Spectra). ثم أدخل في صندوق الحوار (Response Spectrum Cases Data) البيانات الموضحة في الشكل (86).. ثم اضغط (OK) لإغلاق كافة صناديق الحوار.

ـ ملاحظة:

عند الحاجة لتحليل المنشأ تحت تراكيب معينة للحمولات مع أي نمط من أنماط الاهتزاز استخدم الأمر (Load Combinations) من قائمة (Define) ثم اضغط الزر (Add New Combo) ليفتح صندوق الحوار (Load Combination Data).

ـ اختر الحمولات المطلوبة من الخيار (Case Name) ومعاملات التصعيد (Scale Factor) ثم اضغط (ADD).

ـ اختر النمط (Mode) من قائمة (Case Name) للحصول على صندوق الحوار الجديد كما في الشكل (87).

ـ أدخل في صندوق الحوار السابق رقم النمط المطلوب ثم اضغط **(OK)** ليضاف إلى قائمة **(Case Name)**.

Response Spectrum Case Data
Spectrum Case Name SPEC1
Excitation angle 0.
Modal Combination
CQC SRSS ABS GMC
Damping 0.07
F1 F2
Directional Combination
SRSS
ABS Scale Factor
Input Response Spectra
Direction Function Scale Factor
U1 UBC94S1 3.
U2
U3
OK Cancel

الشكل 86

Select Mode Number
Mode Number
1
OK Cancel

الشكل 87

3 ـ 2 ـ 2 التحليل واستعراض النتائج

1 ـ اختر نوع التحليل:

Analyze → Set Options → XZ Plane → OK

ـ اضغط الزر (Set Dynamic Parameters)

ـ أدخل عدد أنماط الاهتزاز مساوياً لعدد الطوابق (9) وحافظ على بقية المعطيات الافتراضية ثم اضغط (OK).

ـ اضغط زر (Select Output Options) وحدد كافة خيارات النتائج من أجل حالة التحميل (SPEC 1) فقط ثم اضغط (OK) من أجل الحصول على هذه المعلومات في ملف الإخراج.

2 ـ اختر الأمر (Run Minimized = Shift + F5) لتنفيذ التحليل.

3 ـ تأكد من عدم وجود أخطاء أو تحذيرات وحاول مراجعة نتائج هذه العملية.

4 ـ اختر الأمر (Show Mode Shape) لعرض أشكال الأنماط واختر النمط رقم (1). ثم ضع إشارة تحقق في هذا الصندوق بجانب خياري (Wire Shadow) و (Cubic Curve) ثم اضغط (OK) لمعاينة النمط الأول.

5 ـ اضغط السهم المتجه نحو اليمين بجانب أمر (Start Animation) أسفل الشاشة، لمعاينة نمط التشوه الثاني، وكرر ذلك لكافة الأنماط.

6 ـ ضع مؤشر الماوس فوق أية عقدة من الشكل المشوه أو من أي نمط واضغط بالزر الأيمن لقراءة الانتقالات والدورانات في هذه العقدة.

7 ـ استخدم الأيقونة (Show Unformed Shape) للعودة إلى الشكل غير المشوه للمنشأ.

8 ـ استخدم الأيقونة (Member Force Diagram Foe Frames) F لاستعراض القوى المحورية في عناصر الإطار تحت حالة (SPEC 1). ثم عاين بنفس الطريقة القص (Shear 2-2) والعزوم (Moment 3-3) في الإطار.

9 ـ استخدم الأيقونة (Joint Reaction Forces) **J** لاستعراض ردود أفعال المساند.

10 ـ استخدم الأيقونة **S** لاستعراض القوى المستوية (F11 , F22 , F12) في الجدار.

11 ـ أظهر مجاميع القوى المطبقة في المجموعات المعرفة كما يلي:

Display → Show Group Joint Force Sums → Group1 → OK

اختر بمؤشر الماوس كافة المجموعات ماعدا (ALL) ثم اضغط (OK). وقارن مساهمات الجدار والإطار في تلقي القوى بالاتجاه (X).. لاحظ أن مجموع المساهمتين في أية مجموعة يساوي المساهمة الكلية للجملة.

3 ـ 2 ـ 3 تصميم عناصر الإطار

ـ تهدف هذه الفقرة إلى التذكير بخطوات تصميم العناصر الخرسانية الإطارية والذي تم تناوله بالتفصيل في الجزء الثاني. وذلك بغض النظر عن نوع الحمولة المطبقة على المنشأ.

1 ـ قم بإلغاء التحليل بفتح أيقونة القفل. ثم عدل من قائمة (Define) أنواع المقاطع بحيث يتم تعريف الكمرات (B) باعتبارها من النوع (Beam) وتعريف كافة الأعمدة من النوع (Column)، مع اختيار عدد مناسب للقضبان.

2 ـ اختر من قائمة (Define) الأمر (Load Combinations)، ثم حدد تركيب واحد هو (SPEC 1) مع معامل تصعيد يساوي الواحد، وفعل خيار (Use For Concrete Design).

3 ـ اختر كافة عناصر الإطار ثم اضغط (Assign → Frame → Output Segments) وأدخل القيمة (2) لكافة العناصر لمعاينة ثلاثة مقاطع فقط.

4 ـ أعد التحليل من جديد.

5 ـ استخدم الأيقونة (Show Unformed Shape) للعودة إلى الشكل غير المشوه للمنشأ.

6 ـ تأكد من وجود إشارة بجانب الخيار (Concrete Design) في قائمة (Design). ثم عدل الواحدات إلى (kg , cm).

7 ـ تأكد من تركيب الحمولة المطلوب من أمر (Select Design Combinations = Ctrl + F6)

في قائمة (Design)... ثم قم باختيار التركيب الوحيد الموجود (COMB1) في صندوق الحوار الناتج كما في الشكل (88). واضغط (OK) لإغلاق كافة صناديق الحوار.

Load Combination Data

Load Combination Name COMB1

Load Combination Type ADD

Title COMB1

Define Combination

Case Name Scale Factor

SPEC1 Spectra 1.

OK

الشكل 88

قم بإخفاء الجدار من كما يلي:

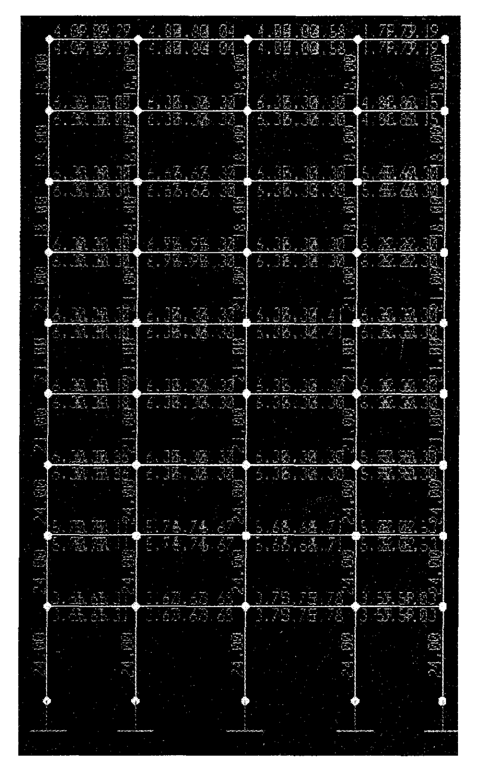
ـ إما باختيار كافة عناصر الإطار واستخدام أمر (Show Sections Only = Ctrl + H) من قائمة (View).

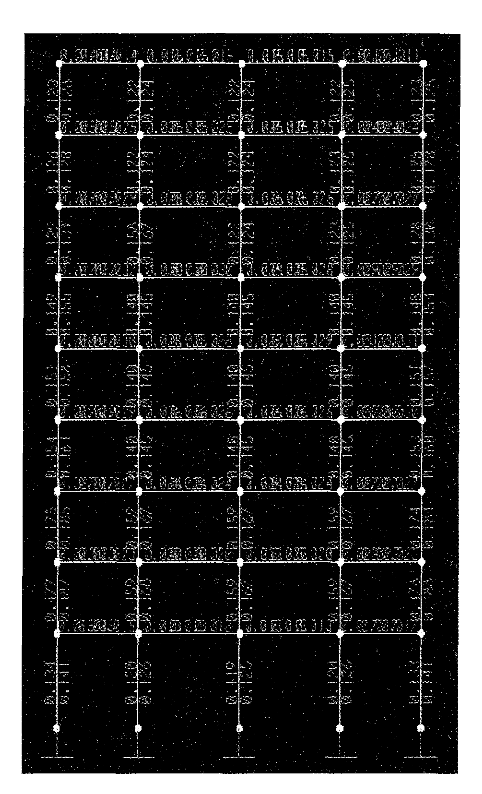
ـ أو من خيار (Hide - Shell) من أمر (Set Elements = Ctrl + E) في قائمة (View).

17 ـ أعط أمر التصميم (Ctrl + F5).

18 ـ نحصل على مساحات التسليح الطولي المطلوبة للعناصر الإطارية كما في الشكل (90) الأيسر.

19 ـ للحصول على تسليح القص اختر الأمر (Display Design Information = Ctrl + F8) والذي يعطي صندوق حوار بعنوان (Display Design Results) حيث نختار من (Design Output) الخيار (Shear Reinforcing) لنحصل على الشكل (89) الأيمن.





الشكل 89

20 ـ ضع مؤشر الماوس على أي عنصر من الإطار ثم اضغط الزر الايمن لتحصل على نتائج التصميم.. فمن أجل أول كمرة في الطابق الأول مثلا نحصل على النافذة (90).

Concrete Design Information

Frame ID 3
Section ID B

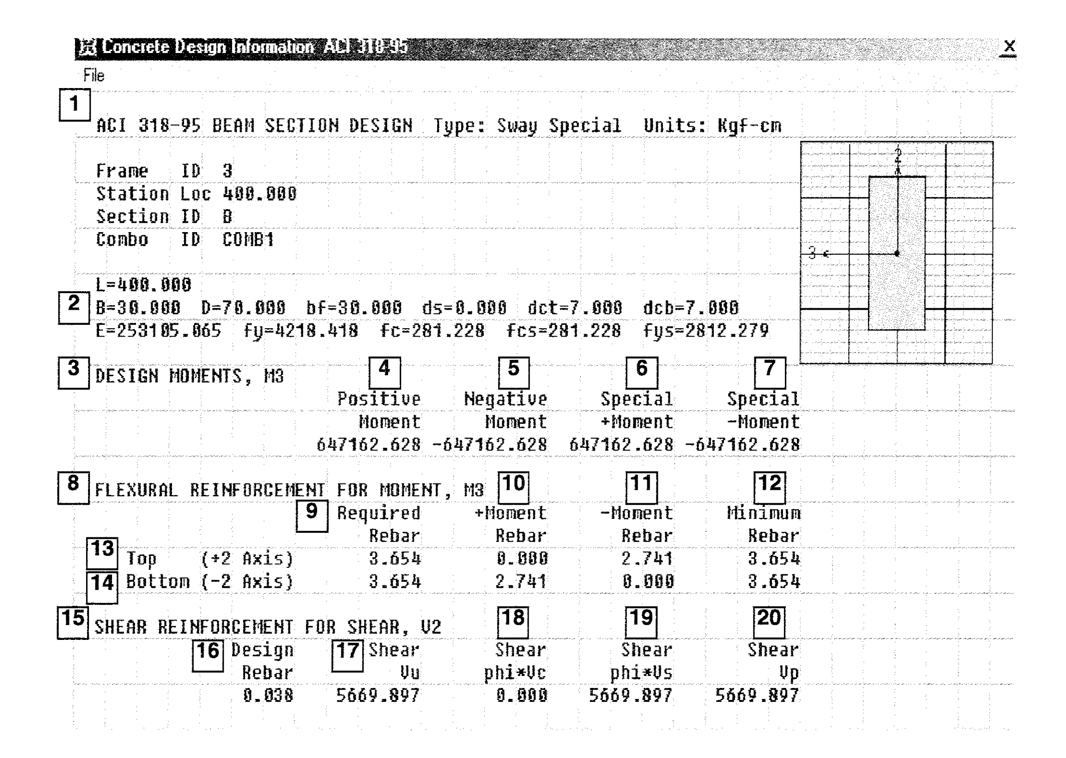
Details ReDesign

COMBO ID	STATION LOC	TOP STEEL	BOTTOM STEEL	SHEAR STEEL
COMB1	0.00	1.326	1.326	0.015
COMB1	133.33	0.396	0.396	0.015
COMB1	266.67	0.529	0.529	0.015
COMB1	400.00	1.459	1.459	0.015

OK Cancel

الشكل 90

21 ـ اضغط في النافذة السابقة زر (Details) لتحصل على الشكل (91) الذي يعطي معلومات مختلفة حول المقطع المختار في النافذة المذكورة.



الشكل 91

1 ـ كود التصميم واسم العنصر والنمط والواحدات ونوع العنصر وعناوين أخرى. 2 ـ خصائص العنصر و المقطع والمواد. 3 ـ العزوم التصميمية (M3) حول المحور (33). 4 ـ العزم التصميمي الموجب. 5 ـ العزم التصميمي السالب. 6 ـ العزم التصميمي الموجب الخاص (حالة الإطارات الخاصة المقاومة للعزوم). 7 ـ العزم التصميمي السالب الخاص (حالة الإطارات الخاصة المقاومة للعزوم). 8 ـ تسليح عزم الانعطاف (M3). 9 ـ التسليح اللازم أو المطلوب. 10 ـ التسليح المحسوب لمقاومة العزم الموجب في المقطع المعتبر. 11 ـ التسليح المحسوب لمقاومة العزم السالب في المقطع المدروس. 12 ـ التسليح الأدنى المطلوب. 13 ـ علوي. 14 ـ سفلي. 15 ـ تسليح القص (V2) باتجاه المحور (22). 16 ـ التسليح اللازم لمقاومة القص لواحدة الأطوال. 17 ـ (Vu = Vp + VDL). 18 ـ قدرة تحمل الخرسانة للقص. 19 ـ قدرة تحمل الفولاذ للقص. 20 ـ قدرة تحمل الإطار الخاص للقص.

ـ ملاحظة:

يعطى تسليح القص لواحدة الأبعاد.. انظر الصفحة (101) من الجزء الثاني.

هذا ويوضح الشكل (92) النافذة الخاصة بالأعمدة والمشابهة للشكل السابق.

Concrete Design Information ACI 318-95

File

1 ACI 318-95 COLUMN SECTION DESIGN Type: Sway Special Units: Kgf-cm

Frame ID 1
2 Station Loc 400.000
Section ID C123
Combo ID COMB1

L=400.000
3 B=30.000 D=80.000 dc=5.000
E=253105.065 fy=4218.418 fc=281.228 fcs=281.228 fys=2812.279

4 AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN FOR PU, M2, M3

Rebar Area	Design Pu	Design M2	Design M3	Minimum M2	Minimum M3
24.000	-46792.336	0.000	183613.125	113424.621	183613.125

5 AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT FACTORS

	Cm Factor	Delta_ns Factor	Delta_s Factor	K Factor	L Length
6 Major Bending(M3)	0.617	1.000	1.000	1.000	400.000
Minor Bending(M2)	1.000	1.000	1.000	1.000	400.000

7 SHEAR DESIGN FOR V2,V3

	Design Rebar	Shear Vu	Shear phi*Vc	Shear phi*Vs	Shear Vp
8 Major Shear(V2)	0.080	14313.169	0.000	14313.169	14313.169
Minor Shear(V3)	0.083	4954.670	0.000	4954.670	4954.670

الشكل 92

1 ـ اسم الكود والمنشأ ونمطه. 2 ـ رقم العنصر وموقع المقطع أو المحطة ونوع العنصر ورقم تركيب الحمولة. 3 ـ أبعاد العنصر وخصائص الخرسانة والتسليح. 4 ـ تصميم القوى المحورية وعزوم الانعطاف في الاتجاهين. 5 ـ معاملات العزوم والقوى المحورية. 6 ـ العزوم حول المحورين الرئيسي والثانوي. 7 ـ تصميم قوى القص في الاتجاهين. 8 ـ القص باتجاه المحورين الرئيسي والثانوي.

22 ـ أنشئ ملف إخراجات التصميم كما يلي:

File → Print Design Tables = Ctrl + D →

→ ضع إشارة تحقق بجانب الخيارات (Input , Output , Print to File)

→ اضغط الزر (File Name) كما في الشكل (93)

افتح الملف بواسطة (Notepad) → OK → اختر اسم وموقع الملف

Print Design Tables

Steel Design: Input, Output

Concrete Design: ☑ Input, ☑ Output

Selection Only, ☑ Print to File, Append

File Name: C:\WINDOWS\Desktop\Dual.txt

OK Cancel

الشكل 92

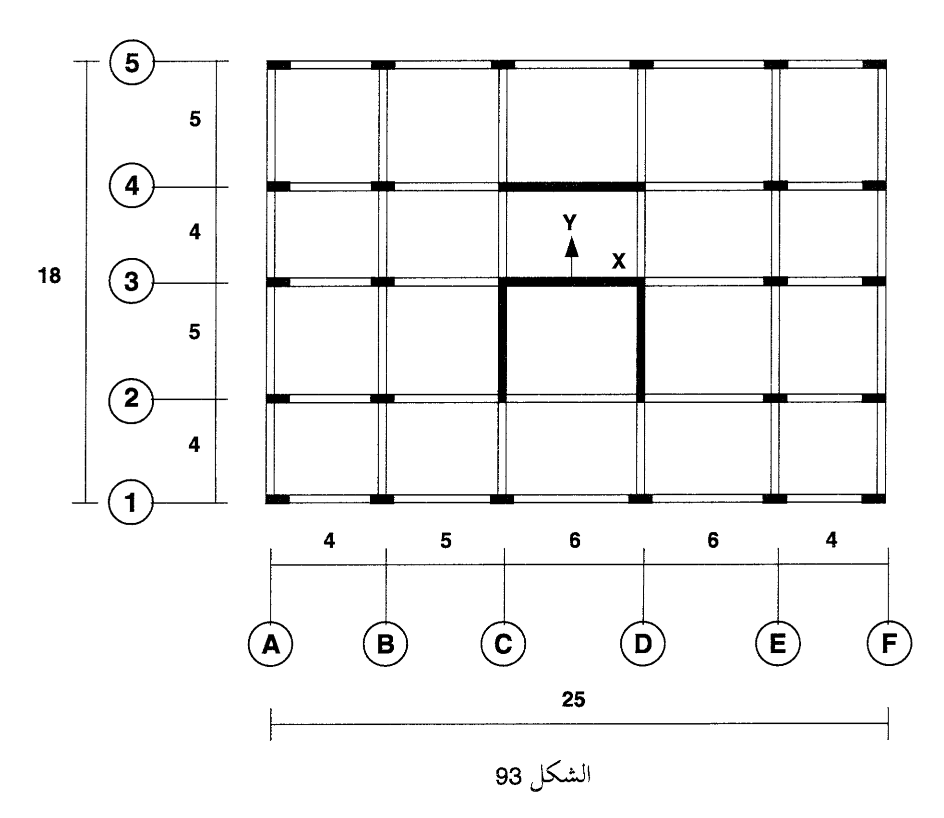
استعرض الإدخالات والإخراجات في الملف المذكور تحت العناوين التالية:

MATERIAL PROPERTY DATA	بيانات خصائص المواد.
MATERIAL DESIGN DATA	بيانات التصميم المتعلقة بالمواد.
CONCRETE COLUMN PROPERTY DATA	بيانات خصائص الأعمدة الخرسانية.
CONCRETE BEAM PROPERTY DATA	بيانات خصائص الكمرات الخرسانية.
LOAD COMB INATION MULTIPLIERS	معاملات تراكيب الحمولات.
CODE PREFERENCES	الكود المرجعي (معاملات كود التصميم).
CONCRETE DESIGN ELEMENT INFORMATION (ACI 318-95)	معلومات تصميم العناصر الخرسانية.
CONCRETE DESIGN OUTPUT (ACI 318-95)	إخراجات التصميم الخرساني.
BIAXIAL P-M INTERACTION AND SHEAR DESIGN OF COLUMN-TYPE ELEMENTS	الارتباط الداخلي بين القوى المحورية والعزوم وتصميم القص لعناصر الأعمدة.
FLEXURAL AND SHEAR DESIGN OF BEAM-TYPE ELEMENTS	تصميم الانعطاف والقص في الكمرات

3 ـ 3 مثال عام 3 ـ تحليل وتصميم مبنى فراغي

يلخص هذا المثال طرق التحليل الستاتيكي موضوع الجزء الثاني، ويشرح أهم إجراءات التحليل الديناميكي بطريقة طيف الاستجابة.. كما يوجز الأسس والمتطلبات العامة للتصميم على مقاومة الزلازل.

يطلب تحليل المبنى الخرساني الموضح مسقطه الأفقي في الشكل (93) والمؤلف من جملة مختلطة من جدران القص والإطارات بالطريقة الستاتيكية وفق الكود (UBC 94) والديناميكية وفق الكود (ACI 318 - 95) وتحت الحمولات الميتة والحية والزلزالية، ومن ثم تصميم العناصر الإنشائية حسب المعطيات التالية:



الشكل 93

ـ المبنى مؤلف من (8) طوابق متكررة ارتفاع كل منها (3 m).

ـ الواحدات (Ton , m).

ـ تفترض الحمولات المنقولة على البلاطات قبل التصعيد كما يلي:

ـ الحمولة الميتة بما فيها الوزن الذاتي على البلاطات ($700\ kg/m^2$).

ـ الحمولة الحية على البلاطات ($200\ kg/m^2$).

ـ أبعاد كافة الكمرات (B = 0.30 X 0.70).

ـ سماكة الجدران وأبعاد الأعمدة كما يلي:

الطابق	أبعاد مقطع العمود m	سماكة الجداران m
1 , 2 , 3	0.30 x 0.80	0.30
4 , 5 , 6	0.30 x 0.70	0.25
7 , 8	0.30 x 0.60	0.20

ـ التراكيب المطلوبة هي التراكيب الافتراضية للكود.

ـ تفترض كافة المعطيات الأخرى المطلوبة للتصميم.

3 ـ 3 ـ 1 التحليل الستاتيكي

3 ـ 3 ـ 1 ـ 1 حساب الحمولات

1 ـ الزلزالية الستاتيكية المكافئة وفق الكود (UBC 94):

نوجد قوة القص القاعدي التصميمي وفق الكود المعتبر وحسبما ورد في الفقرة (1 ـ 4 ـ 5 ـ 1) من الفصل الأول. وسنعتبر في مسألتنا المعاملات التالية:

$Z = 0.30 \quad I = 1 \quad R_W = 9 \quad \Rightarrow \quad C = 1.625 < 2.75$

إذن.. $V_X = 195\ T \quad V_Y = 179\ T$

يمكن الاستعانة مثلا ببرنامج (Excel) لحساب الدور والقوى الجانبية. حيث نحصل على القيم التالية:

ـ الدور في الاتجاه القصير: F x = 0.51 sec

ـ الدور في الاتجاه الطويل: F y = 0.43 sec

ـ الستاتيكية الجانبية المركزة في مناسيب الطوابق (مقربة إلى أقرب واحد طن):

الطابق	8	7	6	5	4	3	2	1
القوة في الاتجاه القصير T	40.9	35.8	30.6	25.5	20.4	15.3	10.2	5.1
القوة في الاتجاه الطويل T	44.5	38.8	33.3	27.7	22.2	16.6	11.1	5.5

وباعتبار أن الدور في الاتجاهين أقل من (0.7 sec) تكون القوة المركزة أعلى المنشأ (F t) مساوية للصفر.

بحساب مركز القساوة للمنشأ سنجد أن (X_e = 11.45 m) و (Y_e = 8.90). وباعتبار أن إحداثيات مركز الثقل هي (X_C = 12.50 m) و (Y_C = 9.00) تكون اللامركزية في الاتجاهين (e_X = - 1.05 m) و (e_Y = - 0.10 m).

وباعتبار أن القيمة الأخيرة أقل من (0.05 Y)، نعتبر إذن (e_Y = - 0.05 . 18 = 0.90 m)..

وبالتالي ندرس المنشأ في الحالة الستاتيكية على اللامركزيات التالية:

e_{X1} = - 1.05 m , e_{X2} = + 0.90 m و e_{Y1} = - 0.90 m , e_{Y2} = + 0.90 m

نطبق إذن الحمولات الجانبية المحسوبة في مراكز ثقل الطوابق كما في الفقرة (3 ـ 3 ـ 1 ـ 2). مع عزوم انعطاف تساوي جداء كل قوة بلامركزياتها الموجبة والسالبة.

2 ـ الحمولات الميتة والحية الموزعة على الكمرات:

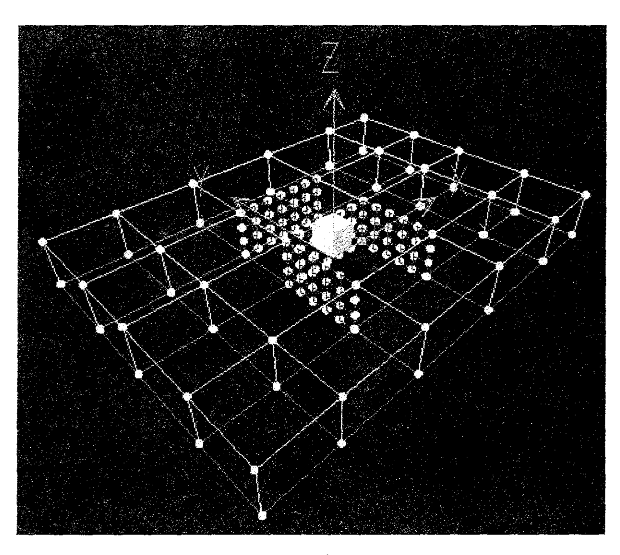
يتم حساب الحمولات الحية والميتة على الكمرات كما في المثال (6) في الصفحة (132) من الجزء الثاني.

3 ـ 3 ـ 1 ـ 2 نمذجة المنشأ

1 ـ تأكد من الواحدات ثم اختر شبكة لنموذج جديد (18 m x 25 m) بتباعد أفقي (1 m)

في الاتجاهين (X , Y). وبتباعد (3 m) في الاتجاه الشاقولي (Z).

2 ـ ارسم الطابق الأول من المنشأ كما في الشكل (94)، ثم احذف خطوط الشبكة الأفقية التي لا يمر منها أي عنصر.



الشكل 94

3 ـ حدد ما يلي من قائمة (Define) :

آ ـ المادة:

Define → Material → CONC1 → OK

ب ـ المقاطع:

ـ مقاطع العناصر الإطارية (Frame Elements):

(B) لكافة الكمرات.

(C123) لأعمدة الطوابق الثلاثة الأولى.

(C456) لأعمدة الطوابق (4 و 5 و 6).

(C78) لأعمدة الطابقين (7 و 8).

Define → Frame Sections → Add I / Wide Flange → Add Rectangular

Section Name = C123 , Material = CONC , Depth (t3) = 0.80

Wide (t2) = 0.30 → reinforcement (من أجل التصميم)

أدخل في صندوق الحوار الفرعي الناتج البيانات الخاصة بالأعمدة ثم اضغط (OK).

وكرر ما سبق على بقية الأعمدة

أعد ما سبق لتعريف مقطع الكمرات كما يلي:

Define → Frame Sections → Add I / Wide Flange → Add Rectangular

Section Name = B , Material = CONC , Depth (t3) = 0.70

Wide (t2) = 0.30 → reinforcement

ثم أدخل البيانات في صندوق الحوار الناتج، واضغط (OK) لإغلاق كافة النوافذ

عرف مقاطع الجدران بنفس الطريقة من أمر (Shell Sections) وبالأسماء التالية:

- مقاطع العناصر القشرية (Shell Elements):

(W123) لجدران الطوابق الثلاثة الأولى.

(W546) لجدران الطوابق (4 و 5 و 6).

(W78) لجدران الطابقين (7 و 8).

4 - عرف من قائمة (Define) أيضا حالات التحميل المبينة في الشكل (95)، حيث:

(DL) - الحمولات الميتة مع معامل تصعيد الوزن الذاتي يساوي الواحد.

(LL) - الحمولات الحية.

(ELXR) - حمولات الزلازل الستاتيكية المكافئة في الاتجاه الطويل (X)، مع لامركزية من اليمين (-X , -Y).

(ELXL) - حمولات الزلازل الستاتيكية المكافئة في الاتجاه الطويل (X)، مع لامركزية من اليسار (-X , +Y).

(ELYR) ـ حمولات الزلازل الستاتيكية المكافئة في الاتجاه القصير (Y)، مع لامركزية من اليمين (+X , -Y).

(ELYL) ـ حمولات الزلازل الستاتيكية المكافئة في الاتجاه الطويل (Y)، مع لامركزية من اليسار (-X , -Y).

Define Static Load Case Names

Loads

Load	Type	Self Weight Multiplier
DL	DEAD	1
DL	DEAD	1
LL	LIVE	0
ELXR	QUAKE	0
ELXL	QUAKE	0
ELYL	QUAKE	0
ELYR	QUAKE	0

Click to: Add New Load | Change Load | Delete Load

OK | Cancel

الشكل 95

5 ـ عرف أو خصص المقاطع المذكورة من قائمة (Assign) بحسب الأبعاد للطابق الأول.

6 ـ عين من قائمة (Assign) الحمولات الميتة والحية كما في المثال (6) في الصفحة (132) من الجزء الثاني.

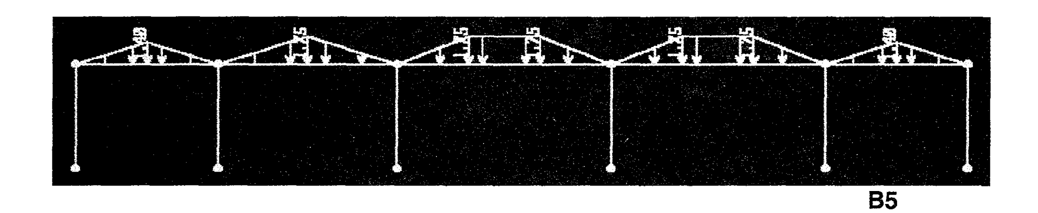
يبين الشكل (96) مثلا الحمولات الميتة على الكمرات المارة من المحاور (1 ـ 5) على ذلك ونذكر هنا بأن الحمولات الحية والميتة تعتبر مركزة على عقد الجدران في منسوب كل طابق كما في الشكل المذكور.

7 ـ استعرض المحاور المحلية للعناصر للتأكد من اتجاهات المقاطع. وفي حال كان توليد بعض العناصر مختلفا في الاتجاه عن العنصر الأخرى فيمكن تعديل اتجاهات هذه العناصر كما يلي:

ـ اختر هذه العناصر.

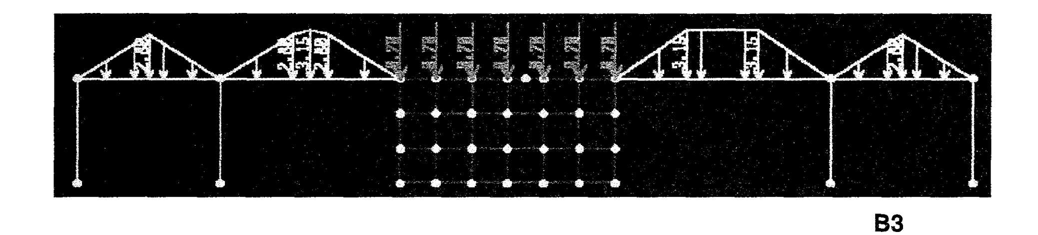
Assign = Frame → Local Axes →

(ضع في صندوق الحوار الناتج إشارة تحقق بجانب Reverse Start and End Connectivity)

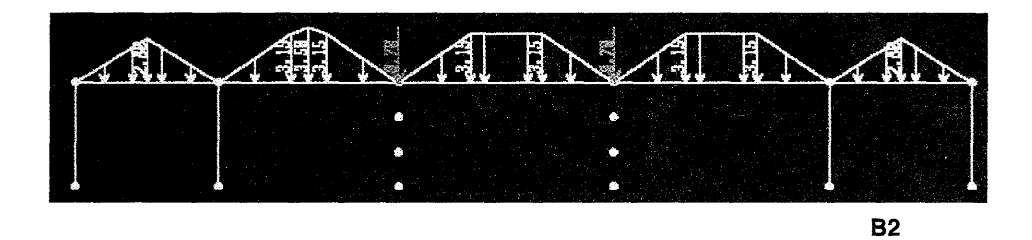


B5

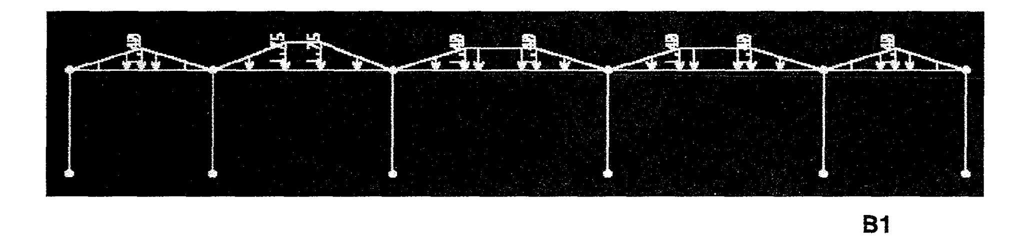
B4



B3



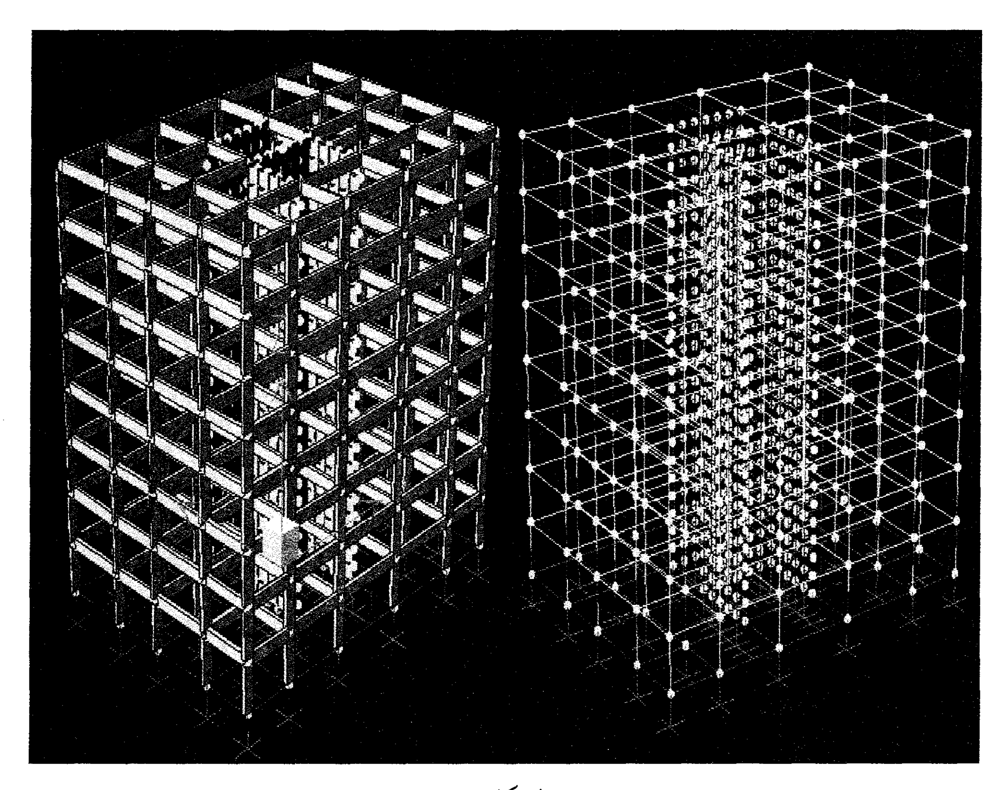
B2



B1

الشكل 96

8 ـ فعل خيار (Show Extrusions) من أمر (Set Elements = Ctrl + E) في قائمة (View) لرؤية الشكل الفراغي. ثم عدل منظر المعاينة من أمر (Set 3 D View) في قائمة (View) أيضا للحصول على ما يماثل الشكل (97).



الشكل 97

9 ـ عدل عدد محطات معاينة النتائج (2 للكمرات و 1 للأعمدة) من (Assign Output Segments).

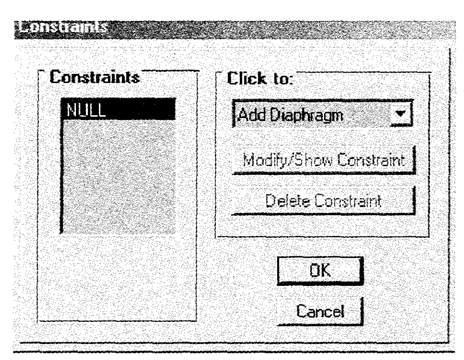
10 ـ عين رابطة الغشاء الصلب (Diaphragm) في منسوب كل طابق كما يلي:

ـ اختر كافة عقد الطابق الأول بنافذة مطاطية.

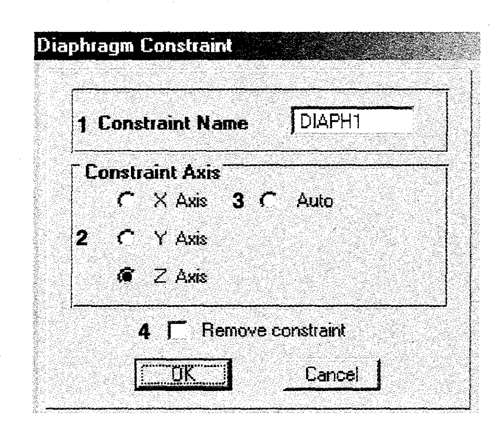
Assign → Joint → Constraints → (صندوق الحوار 98) →

Click to → Add Diaphragm → (صندوق الحوار 99) →

(لاختيار اسم الرابط حافظ على الاسم التلقائي والمحور العمودي عليه Z) → OK → OK



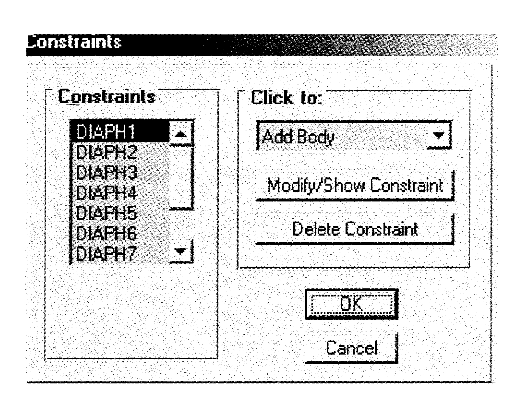
الشكل 98



الشكل 99

1 ـ اسم الرابط. 2 ـ الاتجاهات المعامدة لمستوي الربط. 3 ـ اختيار آلي للربط (**يمكن اعتماده بشكل دائم وخاصة في حالة الديافرامات المائلة كما في السقوف الجمالونية**). 4 ـ إزالة رابط.

ـ كرر العملية السابقة على كافة الطوابق. لتحصل على الشكل (100)، مع توخي الدقة أثناء تعيين الروابط لأن تكرار أكثر من نوع من الروابط يسبب خطأ أثناء التحليل.



الشكل 100

11 ـ عدل ترقيم العناصر الإطارية كما يلي:

ـ اختر كافة أعمدة الطابق الأول.

ـ استخدم من قائمة (Edit) أمر (Change Labels). وأدخل البيانات الموضحة في الشكل (101) ثم اضغط (OK).

وفي هذه الحالة يقوم البرنامج بترقيم أعمدة الطابق الأول بدءاً من الرقم (1) وبتزايد (1). حيث يعطي كل عمود في هذا الطابق الاسم (C1). فمثلاً يدل الرقم (C19) على العمود رقم (9) في الطابق الأول.

Relabel Selected Items

Change Label Initialization

	Prefix	Next Number	Increment
Joint			
Frame	C1	1	1
Shell			

Select Element(s): Joints ☐, Frames ☑, Shells ☐

Relabel Order: First Z, Second Y

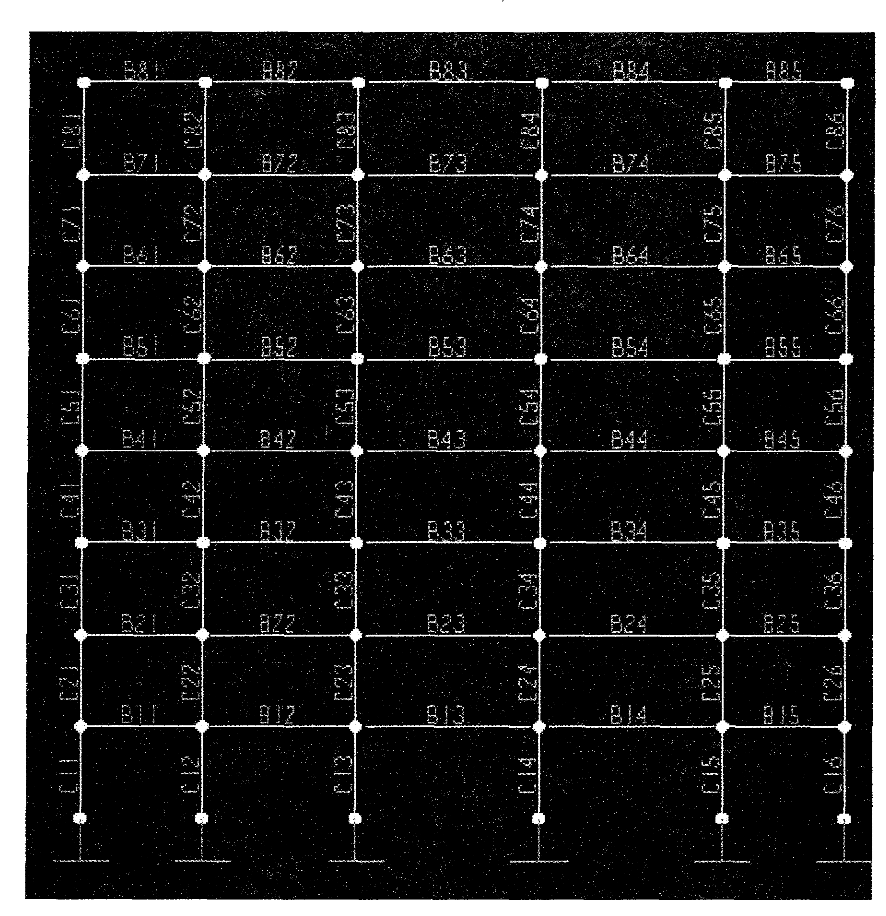
OK Cancel

الشكل 101

كرر العملية السابقة على أعمدة الطوابق (2 ـ 8).

ـ اختر كافة كمرات الطابق الأول.

ـ استخدم مرة أخرى أمر (Change Labels). وأدخل البيانات الموضحة في الشكل (101) السابق بعد استبدال (C1) بـ (B1) ثم اضغط (OK). وهنا يقوم البرنامج أيضاً بترقيم كمرات الطابق الأول بدءاً من الرقم (1) وبتزايد (1). حيث يعطي كل كمرة في هذا الطابق الاسم (B1). فمثلاً يدل الرقم (B111) على العمود رقم (11) في الطابق الأول. ويبين الشكل (102) مقطعاً ماراً من المحور (1) بعد إعادة الترقيم.



الشكل 102

12 ـ اختر نوع التحليل (عادي):

Analyze → Set Options → XZ Plane → OK

ـ ضع إشارة تحقق بجانب (Generate Output).

ـ اضغط زر (Select Output Options) وحدد كافة خيارات النتائج من أجل كافة حالات التحميل وتراكيب الحمولات المتاحة ثم (OK).

13 ـ ابدأ التحليل بالضغط على مفتاح (F5).

14 ـ تأكد من اكتمال التحليل بظهور رسالة (Analysis Complete) دون خطأ (Error) في هذه المسألة عن طريق الشريط التمرير.. مع التنويه إلى إمكانية ظهور تحذير (Warning) بسبب الرابط (Diaphragm).

3 ـ 3 ـ 1 ـ 3 قراءة نتائج التحليل الستاتيكي

1 ـ استعرض تراكيب الحمولات الافتراضية من أمر (Select Design Combinations = Ctrl + F6) في قائمة (Design). فمن أجل التركيب (DCON3) مثلاً نحصل على الشكل (103).

ويمكن معاينة التراكيب بطريقة أخرى في ملف الإخراج كما في الفقرة (3 ـ 3 ـ 1 ـ 3).

Load Combination Data

Load Combination Name: DCON3

Load Combination Type: ADD

Title: DCON3

Define Combination

Case Name	Scale Factor
DL Load Case	1.05
ELXR Load Case	1.4025
LL Load Case	1.275

OK

الشكل 102

2 ـ عاين ردود الأفعال على المنشأ بضغط الأيقونة **J** أو استخدم أوامر القوائم كما يلي:

Display → Show Element Forces / Stress → Joint →

(اختر أية حالة التحميل أو أي تركيب للحمولة) → OK

ضع مؤشر الماوس على المسند الموثوق واضغط الزر الأيمن للحصول على ردود الفعل.

3 ـ عاين مخطط القوى المحورية على المنشأ ، من أجل تركيب الحمولة (.Comb) بضغط الأيقونة **F** أو استخدم أوامر القوائم كما يلي:

Display → Show Element Forces / Stress → Frames

ـ ضع مؤشر الماوس على أي عنصر واضغط الزر الأيمن لمعاينة مخطط القوى المحورية.

4 ـ عاين مخططات عزم الانعطاف (Moment 3 - 3) وقوى القص (Shear 2 - 2) كما سبق، وضع في كل حالة مؤشر الماوس على أي عنصر واضغط الزر الأيمن.

5 ـ بدِّل الواحدات إلى (kg - cm) بدلاً من (Ton - m) من أجل قراءة نتائج التصميم وحسابات التسليح بعد إنجاز العملية التالية.

6 ـ اختر الأمر (Load Combinations) من قائمة (Define)، ثم ضع إشارة تحقق بجانب الخيار(Use For Design Concrete) تحت تراكيب الحمولات

7 ـ اختر من قائمة (Design) الأمر (Start Design / Check Of Structure = Ctrl + F5) وتأكد من وجود إشارة بجانب أمر (Concrete Design)، وستجد أن مساحات التسليح الطولي كتبت على عناصر المنشأ.

ـ ملاحظة: إذا تم اختيار أيٍ من عناصر المنشأ فسيتم عرض نتائج تصميم هذه العناصر فقط.

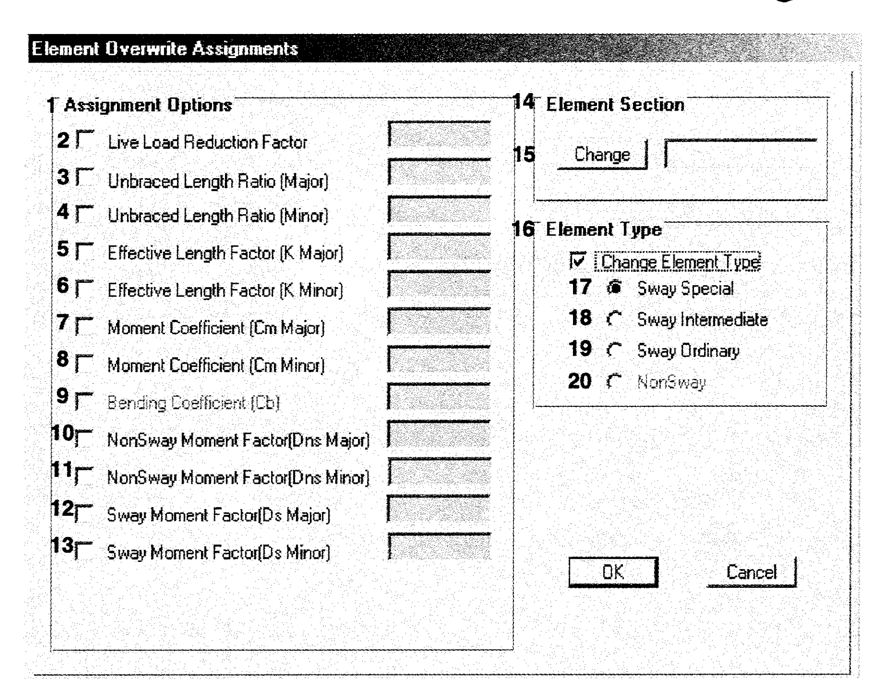
8 ـ اضغط بزر الماوس الأيمن على أية كمرة لتحصل على نافذة مساحات التسليح كما مر معنا في الشكل (90).

9 ـ اختر في الشكل الناتج أي سطر (لأي مقطع وتركيب للحمولة) ثم اضغط زر (Details) لتحصل على النافذة المشروحة في الشكل (91).. ويمكن تكرار ذلك على الأعمدة.

10 ـ من أجل إعادة تعريف متحولات التصميم المخصصة للعناصر قم بما يلي:

آ ـ اختر العناصر التي تريد تغير تصميمها.

ب ـ اختر الأمر (ReDesign Element Design Data = Ctrl + F7) للحصول على صندوق الحوار الموضح في الشكل (103).



الشكل 103 ـ متحولات التصميم حسب الكود المعتمد

1 ـ خيارات التعديل. 2 ـ معامل تخفيض الحمولة الحية. 3 ـ نسبة الطول غير المقوى (المربوط أو الممسوك) إلى الطول الكلي في الاتجاه الرئيسي. 4 ـ نسبة الطول غير المقوى في الاتجاه الثانوي. 5 ـ معامل الطول الفعال في الاتجاه الرئيسي. 6 ـ معامل الطول الفعال في الاتجاه الثانوي. 7 ـ معامل العزم في الاتجاه الرئيسي. 8 ـ معامل العزم في الاتجاه الثانوي. 9 ـ معامل الانحناء. 10 ـ معامل تصعيد العزوم التي لا تسبب انزياحاً جانبياً في الاتجاه الرئيسي. 11 ـ معامل تصعيد العزوم التي لا تسبب انزياحاً جانبياً في الاتجاه الثانوي. 12 ـ معامل تصعيد العزوم التي تسبب انزياحاً جانبياً في الاتجاه الرئيسي. 13 ـ معامل تصعيد العزوم التي تسبب انزياحاً جانبياً في الاتجاه الثانوي. **14 ـ مقطع العنصر.** 15 ـ تغيير مقطع العنصر. **16 ـ نمط العنصر.** 17 ـ 20 نماذج الإطارات المشروحة في الفصل الأول.

جـ ـ ضع إشارة تحقق بجانب المعاملات المطلوب تعديلها. ثم أدخل القيم الجديدة في حال الرغبة بتعديل الكود.

د ـ بدل أبعاد المقطع حين الحاجة من أمر (Change). (وإذا كان العنصر فولاذياً فستحصل على تفرعات جديدة).

11 ـ اختر كافة عقد المساند ثم اختر أعمدة الطابق الأول والعناصر السفلية من الجدران في هذا الطابق، ثم أنشئ مجموعة مؤلفة من هذه العناصر باسم (Group 1) كما يلي:

Assign → Group Name → (أدخل في صندوق الحوار الناتج اسم Group 1 عند خيار Group)
→ Add New Group Name → OK

ـ حدد حالات التحميل وتراكيب الحمولات التي تريد أن تعاين نتائجها في المجموعة المختارة كما يلي:

Display → Set Output Table Mode = Shift + F12 → (حالات التحميل) → OK

ـ أظهر مجموع القوى المطبقة في المجموعة المعرفة للتأكد من وزن المنشأ كما يلي:

Display → Show Group Joint Force Sums → Group1 → OK

3 ـ 3 ـ 1 ـ 4 استعراض ملف الإخراج

لمعاينة تراكيب الحمولات ونتائج التحليل استخدم أمر (Print Output Tables = Ctrl + B). ثم أشر إلى الخيارات الموضحة في الشكل (104).

1 ـ اضغط الزر (Select Group) وحدد مجموعة القاعدة (Group 1).

2 ـ اضغط الزر (Select Loads) وحدد كافة تراكيب الحمولات المتاحة.

3 ـ اضغط الزر (File Name) لطباعة ملف الإخراج تحت اسم آخر وليكن (Space Structure) يتم حفظه على سطح المكتب مثلاً.

4 ـ افتح الملف السابق بواسطة برنامج (Word) أو المفكرة (Notepad) أو الدفتر (Wordpad). ونشير هنا إلى أن حجم البيانات الناتج سيكون كبير جداً بيد أن معاينة هذه البيانات ليست بالأمر الصعب.

Print Output Tables

Type of Analysis Results

☑ Displacements	☑ Shell Forces	☐ Solid Stresses
☑ Reactions	☑ Shell Stresses	☐ Solid Joint Forces
☑ Spring Forces	☐ Shell Joint Forces	☑ Group Force Sum
☑ Frame Forces	☐ Plane Stresses	Select Groups
☐ Frame Joint Forces	☐ Plane Joint Forces	
☐ NLLink Forces	☐ Asolid Stresses	Select Loads
☐ NLLink Joint Forces	☐ Asolid Joint Forces	

☐ Selection Only	☑ Envelopes Only	
☑ Print to File	☐ Spreadsheet Format	☐ Append

File Name C:\WINDOWS\Desktop\Space Structure.txt

OK Cancel

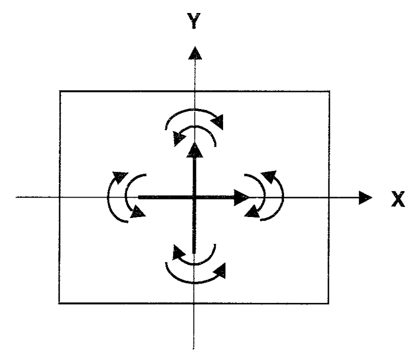
الشكل 104

استعرض أخيراً الملف ذي اللاحقة (OUT) بفتحه بواسطة البرامج المذكورة في البند (4).

3 ـ 3 ـ 2 التحليل الديناميكي

3 ـ 3 ـ 2 ـ 1 أساسيات

يحتاج التحليل الديناميكي للحمل الفراغية إلى العديد من الإجراءات والمراحل، فحالات التحميل للقوى الزلزالية وعزوم اللامركزية يجب أن تطبق بالأوضاع في الشكل (105)، ومن ثم التصميم على الحالة الأسوأ.



الشكل 105

تؤخذ الأفعال الزلزالية التصميمية عند القيام بتحليل نموذج فراغي في الاتجاهين الرئيسيين للمنشأ. كما تؤخذ بالاعتبار في طريقة التحليل متعدد الأنماط كافة أشكال الاهتزاز المساهمة بشكل رئيسي في الاستجابة الكلية. ويتم تحقيق ذلك من خلال تحقيق أحد الشرطين التاليين:

1 ـ عندما يشكل مجموع الكتل النموذجية الفعالة (Effective Modal Masses) للأنماط المأخوذة بالاعتبار ما لا يقل عن (90%) من الكتلة الكلية للبناء.

2 ـ عندما تؤخذ بالاعتبار الأنماط ذات الكتل الفعالة الأكبر من (5%) من الكتلة الكلية للبناء.

وإذا لم يتم تحقيق هذين الشرطين في المنشآت التي تشكل فيها أنماط الفتل مساهمةً هامة، فإن العدد الأدنى للأنماط التي يجب أخذها بالاعتبار في التحليل الفراغي ينبغي أن تحقق المتراجحتين التاليتين:

$$k \geq 3\sqrt{n} \qquad T_k \leq 0.20 \text{ sec}$$

حيث (k) عدد الأنماط المعتبرة، و (n) عدد الطوابق، و (T_K) دور الاهتزاز للنمط (k) الذي يعتبر أكبر من (0.2 sec).

تطبق المركبات الأفقية للأفعال الزلزالية في نفس الوقت في كلا الاتجاهين الرئيسيين. ويمكن اعتبار المركبتين المذكورتين ذات شدة متساوية وغير مرتبطة.

كما يمكن تركيب المركبات الأفقية مع حمولات الثقالة من أجل تحديد التأثيرات الزلزالية العظمى كما يلي:

1 ـ تحسب أولاً الاستجابة الإنشائية مع كل مركبة أفقية وفق قوانين تجميع الاستجابات النمطية.

2 ـ تقدر القيمة العظمى لكل تأثير للأفعال الزلزالية على المنشأ بسبب المركبات الأفقية للأفعال الأفقية، وذلك من خلال الجذر التربيعي لمجموع مربعات الاستجابات لكافة مركبات الفعل الزلزالي.

وبالرغم من الوقت المطول الذي يستغرقه قراءة نتائج التحليل الديناميكي، ومن الدقة التي تتطلبها هذه القراءة، إلا أن إنجاز التحليل ضمن البرنامج يتم بشكل سريع نسبياً.

ونؤكد هنا مرة أخرى على أن هذا التحليل يحتاج إلى دقة في اختيار الأفعال التصميمية، فكل عنصر إطاري مثلاً يجب أن يصمم على اللامركزية في الاتجاهين. كما أن تحقيق اشتراطات ومتطلبات التسليح يعتبر شرطاً أساسياً للحصول على تصميم سليم.

3 ـ 3 ـ 2 ـ 2 إدخال البيانات

1 ـ قم بإلغاء التحليل في المسألة السابقة بفتح القفل من الأيقونة (Lock / Unlock Model) ثم احفظ الملف بالضغط على المفتاح (F12) باسم جديد تختاره.

2 ـ اختر من قائمة (Define) الأمر (Response Spectrum Cases ـ حالات طيف الاستجابة) لتحصل على صندوق حوار بعنوان (Define Response Spectra ـ تعريف طيف الاستجابة).

3 ـ اضغط في صندوق الحوار الناتج الخيار (Add New Spectra ـ إضافة طيف جديد) لتحصل على صندوق الحوار (Response Spectrum Cases Data) وقد تم شرح محتويات هذا الصندوق في الشكل (42).

ـ حافظ في صندوق الحوار المذكور على اسم حالة التحميل الطيفية (Spec1). وأدخل معامل التخامد (Damping = 5%)

ـ اعتمد طريقة (CQC) لتراكيب الأنماط.

ـ أدخل توابع (UBC 94S2) في الاتجاهات الثلاثة (U1 , U2 , U3)

ـ اضغط (OK) لتحصل على صندوق الحوار (Define Response Spectra) والذي يوضح تحديد طيف الاستجابة المختار (Spec 1).

اضغط (OK) إغلاق هذا الصندوق.

4 ـ اختر نوع التحليل كما يلي:

Analyze $\rightarrow$ Set Options $\rightarrow$ Space Frame $\rightarrow$

(ضع إشارة تحقق بجانب الخيار Dynamic Analysis)

→ Set Dynamic Parameters

أدخل عدد أنماط الاهتزاز مساوياً لعدد الطوابق (8) وحافظ على بقية المعطيات الافتراضية ثم اضغط (OK)

6 ـ اضغط الزر (Select Output Options) وحدد كافة خيارات الإخراج تحت (Mode) و (Spec1 Spectra) ثم اضغط (OK) لإغلاق كافة صناديق الحوار.

3 ـ 3 ـ 2 ـ 3 تنفيذ التحليل

1 ـ اختر الأمر (Run Minimized = Shift + F5) لتنفيذ التحليل بالطريقة الخلفية.

2 ـ اختر الأمر (Show Mode Shape) لعرض أشكال الأنماط بدءاً من النمط (1).

ضع إشارة تحقق في هذا الصندوق بجانب خياري (Wire Shadow ـ ظل المنشأ غير المشوه) و (Cubic Curve).. ثم اضغط (OK) لمعاينة النمط الأول.

3 ـ اضغط السهم المتجه نحو اليمين بجانب أمر (Start Animation) أسفل الشاشة، لمعاينة نمط التشوه الثاني، وكرر ذلك لكافة الأنماط.

4 ـ استعرض في ملف الإخراج ذي اللاحقة (OUT):

ـ إجمالي الكتل العقدية المجمعة في جملة الإحداثيات المحلية TOTAL ASSEMBLED JOINT MASSESIN IN GLOBAL COORDINATES

ـ إجمالي الكتل المسرَّعة ومواقعها TOTAL ACCELERATED MASS AND LOCATION

ـ إجمالي الكتل الفعالة أو المنشطة بواسطة حمولات التسارع في جملة الإحداثيات العامة.
TOTAL MASS ACTIVATED BY ACCELERATION LOADS, N GLOBAL COORDINATES

ـ الأدوار النمطية والترددات MODAL PERIODS AND FREQUENCIES

ـ نسب الكتل المساهمة النمطية MODAL PARTICIPATING MASS RATIOS

ـ نسب مساهمة الحمولة النمطية. MODAL LOAD PARTICIPATION RATIOS

ـ تسارعات أطياف الاستجابة في جملة الإحداثيات المحلية RESPONSE SPECTRUM ACCELERATIONS IN RESPONSE- SPECTRUM LOCAL COORDINATES

ـ التراكيب من التسارع الطيفي لكافة الأنماط وفي كافة الاتجاهات.
COMBINED FOR ALL MODES AND ALL DIRECTIONS OF SPECTRAL ACCELERATION

5 ـ لاحظ فيما سبق الأدوار العظمى والصغرى والتي تولد حركات انسحابية ودورانية للمنشأ.

6 ـ أعد فتح الشكل (105) وعدل الزاوية إلى (° 90) ثم أعد التحليل وقارن النتائج مع الحالة السابقة.

7 ـ اختر من بين الحالتين السابقتين الحالات الأسوأ للأفعال الداخلية، وقارنها مع حالة التحليل الستاتيكي.

8 ـ اعتمد لكل عنصر قيم الأفعال الداخلية التصميمية للحالة الأسوأ.

9 ـ يجري تصميم العناصر مع مراعاة الشروط المبينة في الفقرات التالية.

3 ـ 3 ـ 3 أسس ومعايير التصميم

1 ـ حالة حد الاستثمار (serviceability limit state):

يجب أن يقاوم المنشأ الزلازلَ ذات الشدة المنخفضة دون أية أضرار إنشائية. وهذا يعني أن العناصر المكونة له يجب أن تبقى ضمن مجال المرونة خلال فترة الزلزال.

2 ـ حالة الحد الأقصى (ultimate limit state):

ينبغي أن يقاوم المنشأ الزلازلَ ذات الشدة المتوسطة (أي الزلزال التصميمي الذي تتمتع ذروة تسارعه باحتمال 90% لعدم تجاوزه خلال 50 سنة) مع القبول بأضرار بسيطة في بعض العناصر كقواطع البلوك قابلة للإصلاح.

3 ـ حالة حد الانهيار (collapse limit state):

ينبغي أن يقاوم المنشأ الزلازلَ ذات الشدة العالية ودور الحدوث الأكبر بكثير من عمره التصميمي دون أن ينهار.

ولا تتضمن المعايير السابقة أية عناصر كمية بيد أنها تأخذ بالاعتبار قيمة الحمولة الزلزالية التصميمية القصوى المتوقعة بالإضافة إلى دور تكرارها حين التصميم.. كما تتضمن السماح بتجاوز حد المرونة للمنشأ في حالة الزلازل متوسطة أو عالية الشدة. وهذا يعني أن المنشأ يجب أن يكون قادراً على الدخول في مرحلة التشوهات اللدنة دون أن يخسر نسبة كبيرة من

مقاومته.. وكما ذكرنا في الفصل الأول، فإن هذه الخاصية تدعى بالمطاوعة.

تشكل الأفكار السابقة الخطوط العريضة التي تتبعها الكودات الزلزالية الحديثة. حيث توصي هذه الكودات بالتحليل الديناميكي أو الستاتيكي ضمن مجال المرونة، مع تخفيض هذا المجال بنسبة (%50 - % 20) حسب درجة المطاوعة. وبذلك يتم الأخذ بالحسبان قدرة الجملة الإنشائية المدروسة على مقاومة الأفعال الزلزالية في المجال اللامرن.

يعتبر كود البناء الموحد (UBC 94) معامل الأمان الجزئي للحمولات مساوياً ($\gamma f = 1.4$). وبالتالي تتراوح قيم (R w) بين (4 و 12).

تؤثر معايير التصميم التالية على آثار الأفعال التصميمية:

1 ـ يجب أن تكون مقاومة مقاطع العناصر في المناطق الحرجة أكبر بشكل واضح من آثار الفعل الزلزالي التصميمي.

2 ـ ينبغي تجنب الانهيار الهش (Brittle Failure) والأنواع الأخرى غير المرغوبة من الانهيار كما في الحالات التالية:

ـ انهيار القص في العناصر الإنشائية.

ـ انهيار العقد بين الكمرات والأعمدة.

ـ السيلان في الأساسات أو في أية عناصر أخرى تعتبر مرنة.

ويمكن ضمان هذا الشرط إذا تم إيجاد أفعال الزلازل التصميمية للمناطق المدروسة من شروط التوازن عند تشكل المفاصل اللدنة.

3 ـ يمكن ضمان ميكانيكية الطابق الضعيف (التوزيع الكثيف للمفاصل اللدنة مع تجنب تركزها في أحد الطوابق) إذا منع تشكل هذه المفاصل في نهايات الأعمدة في نفس الطابق المدروس. أي إذا ضمنا تشكل المفاصل اللدنة في الكمرات فقط دون الأعمدة. (انظر الملحق A).

ونبين فيما يلي كيفية تحقيق هذه المعايير من أجل تحديد الأفعال الزلزالية التصميمية على مختلف العناصر الإنشائية.

أولاً ـ تصميم الكمرات:

تحتاج الكمرات إلى تسليح ضغط إضافي عند المساند يقدر بحوالي (50%) من تسليح الشد، وذلك لضمان المطاوعة المناسبة... وبالاستناد إلى مفهوم تصميم قدرة التحمل ينبغي إرساء قضبان تسليح الضغط في خرسانة المساند بشكل مناسب، بحيث يمكن أن تعمل كتسليح شد في حال انعكاس العزم.

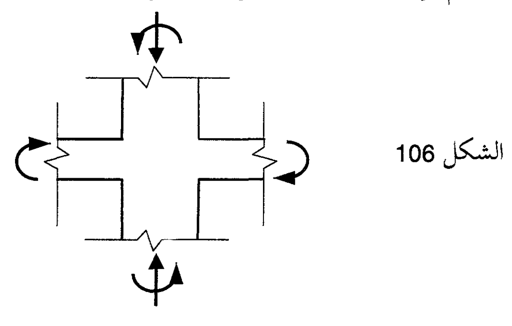
يجب حماية العنصر الإنشائي من انهيار القص المبكر لأن هذا النوع من الانهيار لا يشكل نمطاً للمطاوعة.

ثانياً ـ تصميم الأعمدة:

1 ـ ينبغي تجنب تشكل المفاصل اللدنة في الأعمدة، وحصر ذلك في الكمرات بغية تبديد الطاقة فيها، لأن مطاوعة الأعمدة تكون أقل منها في الكمرات في أي إطار مدروس.

2 ـ يشكل انهيار الكمرات تشققات طولية في مناطق الشد فقط بسبب سيلان التسليح. في حين يشكل انهيار الأعمدة بشكل متعاقب تشظي (Spelling) في الخرسانة وتهشم النواة الخرسانية وانكسار في الأساور وتحنيب في القضبان الطولية.. وتؤدي هذه العملية إلى خلق ميكانيكية انهيار تجعل الأعمدة غير قادرة على تحمل القوى الجانبية. ولذا فتجنب انهيار الأعمدة هو القضية الأهم لتحقيق السلامة الكلية للمنشأ من تجنب انهيار الكمرات.

3 ـ يمكن أن يؤدي تشكيل المفاصل اللدنة في الأعمدة إلى انزياحات طابقية كبيرة. وبالتالي تسبب تأثيرات الدرجة الثانية (P - Δ) إلى انهيار المنشأ. ومن أجل تجنب تشكل المفاصل اللدنة في الأعمدة، يمكن تصميم الإطارات بأعمدة قوية جداً وكمرات ضعيفة نسبياً.. (الشكل 106).



الشكل 106

ثالثاً ـ تصميم جدران القص:

يؤخذ مخطط القص في الجمل المشتركة الحاوية على جدران نحيفة ($h_w / l_w > 2$) بشكل معدل، وذلك من أجل اعتبار الارتيابات الناتجة عن الأنماط الأعلى. وهناك إجراءات عديدة لتصميم هذه العناصر في المراجع المتخصصة.

نشير أخيراً إلى ضرورة الاهتمام بتفصيلات التسليح الخاصة بالتصميم الزلزالي... (انظر الجزء الثاني من كتاب المنشآت الخرسانية المقاومة للزلازل ـــ إصدار دار دمشق 2000)

ملاحق الكتاب

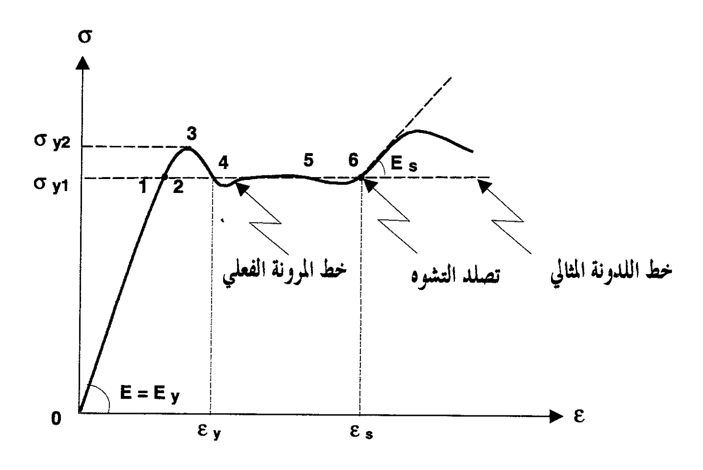
الملحق A. نظرية اللدونة والتحليل اللدن...

4 ـ 1 تعريف المجال اللدن Plasticity field

لقد تم تعريف المطاوعة بأنها قدرة المنشأ على التعرض إلى تشوهات لدنة (في مرحلة ما بعد المرونة) دون حدوث انخفاض كبير في المقاومة. فعندما تبدأ مرحلة السيلان (yielding) في بعض العناصر، يبدأ معها التجاوب اللاخطي (non linear) للجملة الإنشائية المدروسة.

ومن خلال ذلك تبرز أهمية التذكير بنظرية اللدونة وبكيفية تشكل المفاصل اللدنة في العناصر الإنشائية.

تسلك معظم المنشآت وخاصة الفولاذية منها سلوكا مختلفا عن السلوك المرن المفترض في الدراسات النظرية، وخاصة عندما تتعرض لحمولات ديناميكية. ويوضح الشكل (A - 1) علاقة الإجهاد بالتشوه في قضيب فولاذي تعرض للشد المحوري من الطرفين حتى حد الانقطاع.



الشكل A - 1 ـ المنحني الفعلي

يمثل المستقيم (2 0 1) في هذا الشكل حد المرونة، حيث تتناسب التشوهات مع الإجهادات خطياً. وهنا يتم استعادة التشوه الحاصل بعد نزع الحمولة. وبالتالي تطبق في هذه المرحلة علاقة المرونة ($E = \sigma / \varepsilon$) حيث (E) معامل المرونة و (σ) الإجهاد المرن و (A) مساحة مقطع القضيب.

تدعى النقطتان (1 و 2) في الشكل السابق بنقطتي المرونة الدنيا والعظمى، وتعتبران منطبقتين من الناحية العملية. لذا فالمجال (2 1) يسمى بمجال المرونة الحدي... والإجهادان (σ_{y1}, σ_{y2}) منطبقان في المنحني المثالي.

أما النقطة (3) القريبة جداً من النقطة (2) فتسمى بنقطة بداية السيلان، حيث يهبط الإجهاد بشكل حاد إلى حد السيلان الأدنى (النقطة 4).

تزداد التشوهات في المرحلة (5 4) مع ثبات الإجهادات، أما في المرحلة (6 5) التالية فتعود التشوهات لتزداد مع زيادة الإجهادات قليلا لتنتهي التشوهات اللدنة عند النقطة (6)، حيث تبدأ مرحلة الانهيار.

يستنتج مما سبق أن نظرية المرونة تعمل في المجال (3 1) في حين تعمل نظرية اللدونة في المجال (6 3).

لقد دلت التجارب على الفولاذ أن قيمة التشوه عند النقطة (6) تتراوح بين (0.02 0.01) وأن النسبة ($E_s / E_y = 0.10 \quad 0.20$).

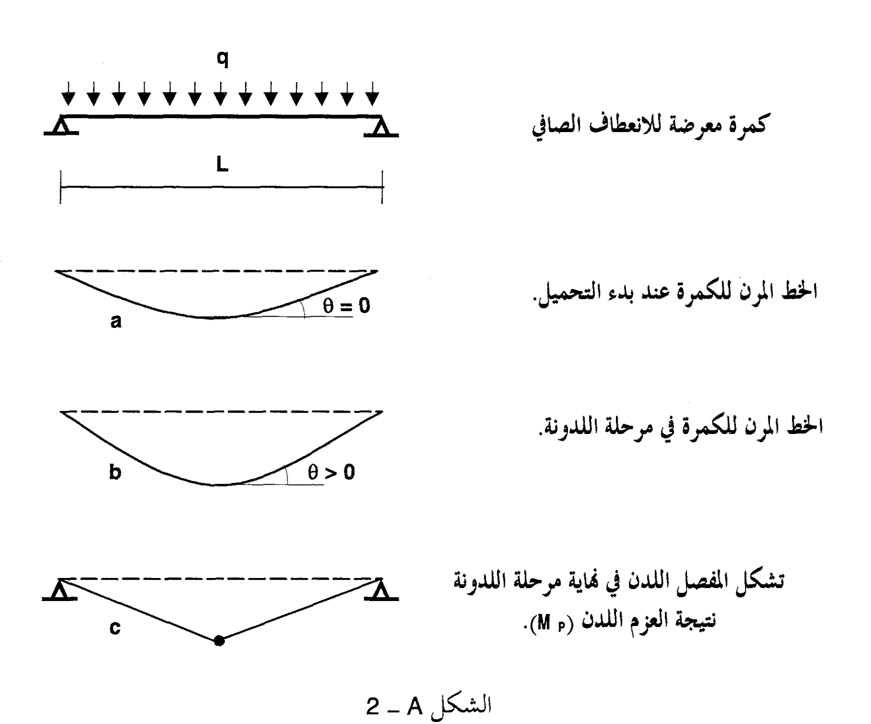
لندرس العلاقة بين الإجهادات والتشوهات أو بين العزم والانحناء في الكمرة البسيطة المعرضة للانعطاف الصافي الذي يتزايد تدريجيا بدءا من الصفر وحتى نهاية مرحلة اللدونة كما في الشكل (A – 2). مع أخذ الافتراضات التالية بالاعتبار:

1 ـ يعتبر مقطع العنصر المدروس متناظرا حول محور الانحناء... وقد افترضنا في الشكل (2) أن المقطع المدروس بشكل (I).

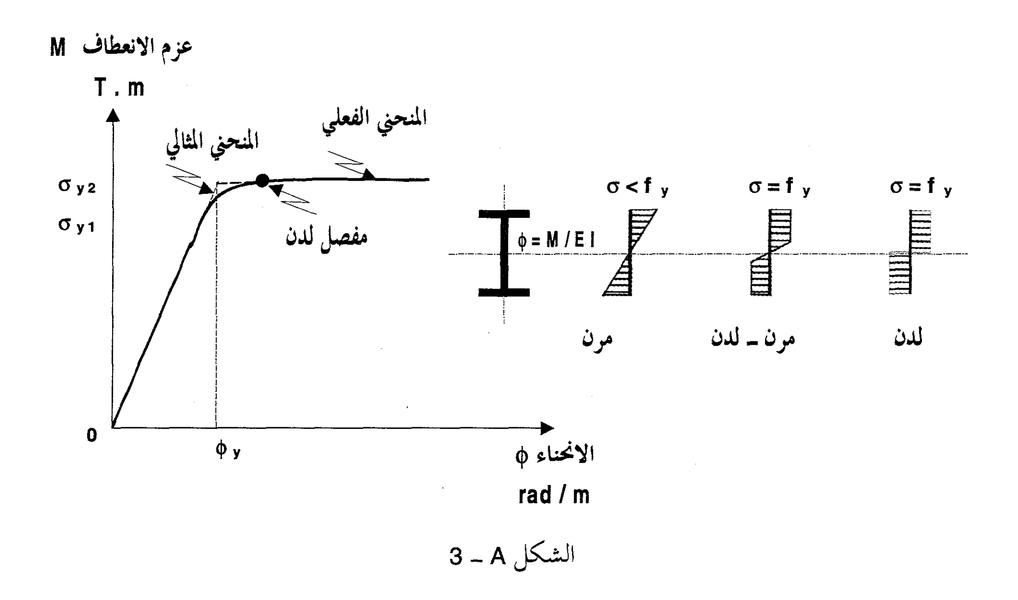
2 ـ لا تتشوه المقاطع بعد الانحناء.

3 ـ تهمل تأثيرات القص والتحنيب (buckling) والأفعال الداخلية الأخرى ما عدا الانعطاف.

4 ـ تخضع العلاقة بين الإجهادات والتشوهات لخط اللدونة المثالي الموضح في الشكل السابق.



الشكل A ـ 2



الشكل A ـ 3

يكون سلوك الكمرة من بداية التحميل وحتى بداية اللدونة مرنا كليا، حيث يولد العزم المطبق إجهادات شادة في الألياف السفلية وضاغطة في الألياف العلوية للمقطع العرضي كما يبين الشكل (3).

A – 2 العزوم اللدنة والمفاصل اللدنة Plastic Moments and Plastic hinges

عندما يتعرض أي عنصر إنشائي إلى عزم انعطاف صافي متزايد تدريجيا حتى الوصول إلى مرحلة اللدونة، فإن العزم في هذه المرحلة يدعى **بالعزم اللدن** (M_P). وهو يشكل في العنصر **منطقة مجهدة تسمى بالمفصل اللدن** يكون فيها تقوس لا نهائيا ($K = 1 / R = \infty$)... حيث ($R \rightarrow 0$ نصف قطر التقوس). ويتعلق طول منطقة المفصل اللدن (l_p) في المنشآت الخرسانية مع إهمال عموما بعدة عوامل من أهمها *:

- خواص كل من الفولاذ والخرسانة.
- نوع التحميل الذي يؤثر على المسافة (l_o) بين المقاطع الحرجة (حيث $M = M_{max}$).
- نقطة تغيير الانحناء.
- شكل وأبعاد المقطع.
- القص الذي يزيد بشكل ملحوظ من طول المنطقة غير المرنة.

يحسب العزم اللدن (M_p) من أجل المقطع الفولاذي المدروس في الشكل (3) من خلال اعتبار المقطع المجهد مقسوما إلى قيمتين يتكافأ فيهما إجهادي الشد والضغط.. أي أن:

$$(1 - A) \quad M_P = \frac{A \cdot a}{2} \cdot f_y = Z_p \cdot f_y$$

حيث (A) مساحة المقطع العرضي في المنطقة اللدنة و (a) المسافة بين مركزي المساحتين من مخطط الإجهادات اللتين تقعان فوق وتحت المحور المحايد و ($Z_p = A \cdot a / 2$) معامل اللدونة أو معامل المقطع اللدن.

* للمزيد من المعلومات حول المفاصل اللدنة في المنشآت الخرسانية انظر الجزء الثاني من كتاب (**المنشآت الخرسانية المقاومة للزلازل**) الصفحتان (20) و (26)... م. عماد درويش و م. همام المالح الجزء — إصدار دار دمشق (2001).

تدعى نسبة العزم اللدن (M_p) إلى العزم المرن في بداية السيلان (M_y) بمعامل الشكل (f):

$$f = \frac{M_p}{M_y} = \frac{Z_p \cdot f_y}{Z_e \cdot f_y} = \frac{Z_p}{Z_e} \qquad (2-A)$$

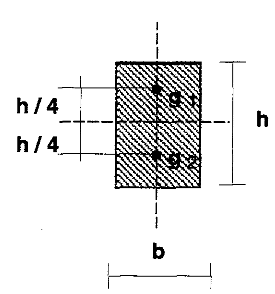
يتم حساب هذا المعامل في مقطع مستطيل مثلا كما يلي:

لدينا من الشكل (A ـ 4):

$$Z_e = \frac{I}{h/2} = \frac{b h^3/12}{h/2} = \frac{b h^2}{6}$$

$$Z_P = A/2(y_1 + y_2) = \frac{b h}{2}\left(\frac{h}{4} + \frac{h}{4}\right) = \frac{b h^2}{4}$$

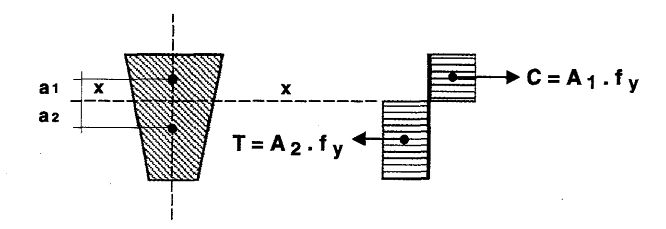
$$f = \frac{Z_p}{Z_e} = \frac{b h^2/4}{b h^2/6} = 1.5$$



الشكل A ـ 4

يمكن أخذ قيم معامل اللدونة (Plasticity Factor) ومعامل الشكل (Shape Factor) من أجل بعض المقاطع الشهيرة من الجدول التالي.

يحسب عزم اللدونة في مقطع عام غير متناظر كالمبين في الشكل (A ـ 5) كما يلي:



الشكل A ـ 5

شكل المقطع	معامل اللدونة (Z_P)	معامل الشكل (Z_P / Z_e)
D, B	$\frac{B . D^2}{4}$	1.50
D, B, t_f, t_w	$\frac{BD^2}{4}[1-(1-\frac{2t_w}{B})(1-\frac{2f_f}{D})]$	≈ 1.12 للجدران الرقيقة
D	$\frac{D^3}{6}$	1.70
D, t	$Bt_f(D-t_f)+\frac{t_w}{4}(D-2t_f^2)$ $t_f D^2$ for $t_f \ll D$	$\frac{16}{3\pi}[\frac{1-(1-\frac{2t_f}{D})^3}{1-(1-\frac{2t_f}{D})^4}]$ 1.27 for $t_f \ll D$
D	$\frac{B . D^3}{12}$	2
D, B, t_f, t_w	$Bt_f(D-t_f)+\frac{t_w}{4}(D-2t_f^2)$ $\frac{B^2 t_f}{2}+\frac{1}{4}(D-2t_f)t_w^2$	1.12 1.55

ـ قوتا الشد (T) والضغط (C) في المقطع:

$$T = A_2 . f_y$$
$$C = A_1 . f_y$$
$$A_1 . f_y = A_2 . f_y$$
$$\Rightarrow \quad A_1 = A_2 = A/2$$

ـ العزم اللدن:

$$M_p = A_1 . a_1 . f_y + A_2 . a_2 . f_y = (A/2)(a_1 + a_2) f_y$$

$M_p = Z_P . f_y$ وهي نفس العلاقة (A ـ 1)

تتشكل المفاصل اللدنة في المقاطع التي تتعرض لإجهادات أعظمية. لذا فهي تكون غالباً:

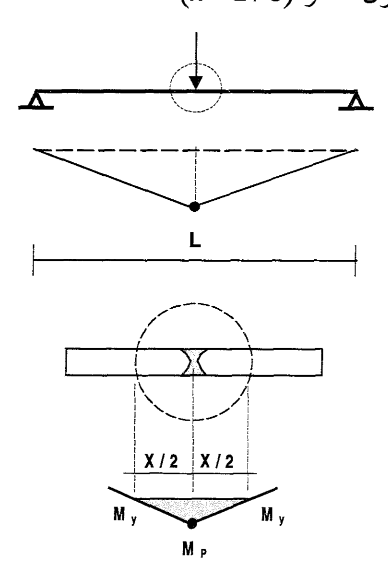
ـ تحت الحمولات المركزة.

ـ عند مناطق انعدام القص تحت الحمولات الموزعة.

ـ عند العقد التي تشكل اتصال العناصر ببعضها البعض.

ـ عند المساند الموثوقة (ولا تتشكل مفاصل لدنة في المساند الأخرى باعتبارها قابلة للدوران).

ويمكن البرهان ببساطة على أن طول منطقة المفصل اللدن في الكمرة الفولاذية الموضحة في الشكل (A ـ 6) هو ثلث طول المجاز ($x = L/3$).

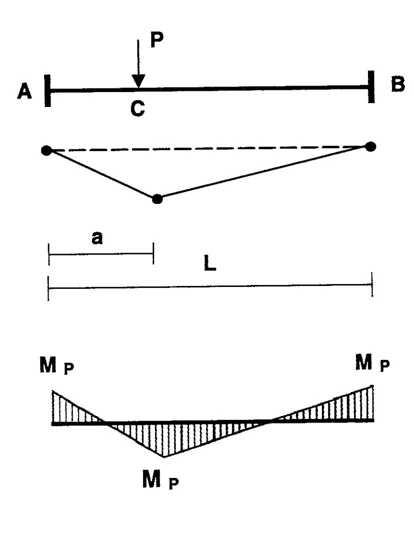


الشكل 6

A ـ 3 إعادة توزيع العزوم بسبب اللدونة Redistribution of moments

يوضح الشكل (A ـ 7) كمرة موثوقة الطرفين تتعرض لقوة مركزة قريبة من المسند الأيسر (A).

تتزايد قيمة هذه القوة تدريجيا حتى تشكل مفصل لدن عند المسند المذكور، ويحدث ذلك عندما يصبح عزم الانعطاف في النقطة (A) مساويا لقيمة العزم اللدن (M_P). في حين تكون العزوم في النقطتين (B , C) أقل من هذه القيمة.



الشكل A ـ 7

بعد تزايد القوة (P) يدور المسند (A) دون أية زيادة في العزم (M_P) حتى تشكل مفصل لدن آخر في المسند (B)... وباستمرار (P) بالتزايد يدور المسندان (A , B) دون تزايد العزوم حتى تشكل مفصل لدن ثالث في (C).

نلاحظ من هذه المناقشة أن:

تشكيل المفاصل اللدنة يسمح بإعادة توزيع العزوم بشكل متتالي في العنصر الإنشائي حتى وصول العزوم في المقاطع الحرجة إلى قيم عزم اللدونة.

يمكن من خلال دراسة الكمرة البسيطة السابقة البرهان على أن مرة وثلث من نسبة القوة الحرجة التي تسبب تشكل المفاصل اللدنة (P_p)، إلى القوة المرنة العظمى (أو حمولة السيلان) (P_y)، تساوي معامل الشكل المعرف في الفقرة (3 ـ 4) السابقة... أي:

$$(3-A) \qquad \frac{4}{3}f = \frac{P_p}{P_y} \Rightarrow f = 0.75 \frac{P_p}{P_y}$$

فلو اعتبرنا أن مقطع الكمرة السابقة بشكل (I) لكان:

$$1.12 = 0.75 \frac{P_p}{P_y} \Rightarrow \frac{P_p}{P_y} = 1.493$$

أي أن الحمولة التي تسبب اللدونة أكبر بنسبة (1.493) مرة من الحمولة التي تسبب السيلان في المقطع (I). وهذا ما تهمله طرق التصميم المرن.

A ـ 5 تعريف معامل الحمولة Load factor

يعرف معامل الحمولة (Load Factor) بأنه نسبة الحمولة التي تسبب اللدونة إلى حمولة الاستثمار (P_w)

$$(4-A) \qquad F = \frac{P_p}{P_w} = \frac{M_p}{M_w}$$

فمن أجل كمرة بسيطة فيها تغيرات عزم الانعطاف تحت الحمولات الفعلية المطبقة خطية نجد:

$$F = \frac{P_p}{P_w} = \frac{M_p}{M_w} = \frac{f_y}{\sigma_y}\frac{Z_P}{Z_e}$$

$$(5-A) \qquad \frac{F}{2} = \frac{f_y}{\sigma_y}.f$$

حيث (σ_y) الإجهاد المسموح في التصميم. وتسمى النسبة $\frac{f_y}{\sigma_y}$ في التصميم المرن بمعامل أمان الشكل (shape safety factor) ويرمز لها بـ (F.O.S).

$$F = (F.O.S) . f \qquad (6 - A)$$

فمن أجل كمرة فولاذية بسيطة بشكل (I) مثلاً فيها (f = 1.12)، ومعامل الأمان في التصميم ($\frac{f_y}{\sigma_y} = \frac{f}{0.66 f_y} = 1.515$) نجد أن معامل الحمولة:

$$F = 1.515 \times 1.12 = 1.70$$

تتبع التقديرات الدقيقة لمعامل الحمولة في التصميم إلى تقديرات المصمم. إذ تتحكم بهذه القيمة عوامل عدة من أهمها نوع التحميل ودقة تقدير الحمولات وشروط الاستناد ونوع العنصر وخواصه الهندسية ودقة التنفيذ وغير ذلك..

يشار هنا إلى أن معامل الحمولة في المنشآت المعرضة للرياح أو الزلازل يخفض بنسبة تتراوح بين (% 35 - % 25) حسب الكود المعتمد في التصميم.

ويمكن بشكل عام أخذ القيم التالية لمعامل الحمولة عند تصميم المنشآت الفولاذية:

- حالة الحمولات الميتة (Dead load) .... F = 1.70
- الحمولات الميتة + المركزة الستاتيكية .... F = 1.70
- الحمولات الميتة + الرياح أو الزلازل .... F = 1.70
- الحمولات الميتة + المركزة الستاتيكية + الرياح أو الزلازل .... F = 1.30

A ـ 6 أنماط آليات (ميكانزمات) الانهيار اللدن Types of mechanisms

A ـ 6 ـ 1 الميكانزمات المستقلة (Independent mechanisms)

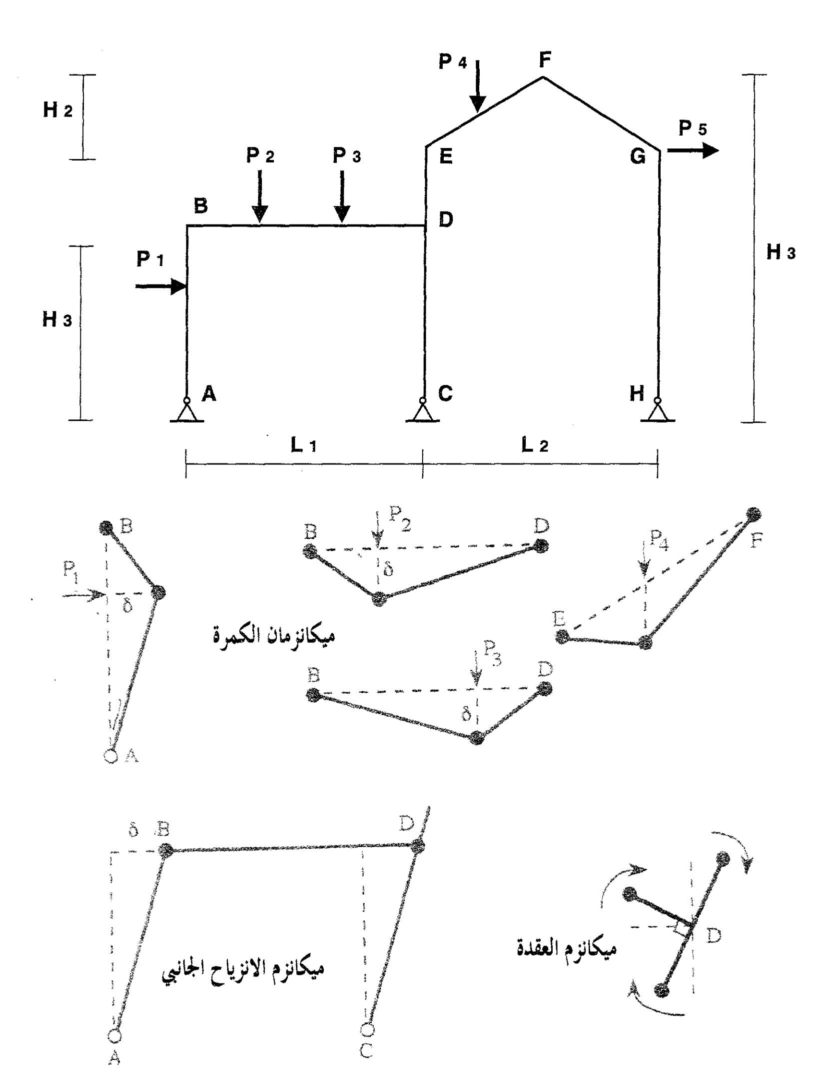
يعرف الميكانيزم المستقل بأنه تقنية انهيار المنشأ من خلال تشكيله لعدد محدد من المفاصل اللدنة وتحت حمولة محددة ،أو تحت مجموعة من الحمولات المطبقة على مجاز واحد ولها نفس الاتجاه.. كما يمكن تعريفه بأنه الحالة غير المتوازنة للمنشأ تحت الحمولة الخارجية المعنية والتي تسبب تشكيل مجموعة من المفاصل اللدنة.

يعطى عدد المفاصل اللدنة من كافة الميكانزمات المستقلة (N) التي يمكن أن تتولد في منشأ ما بالعلاقة:

$$N = n + 1 \quad (7 - A)$$

حيث (n) عدد درجات الحرية اللازمة لجعل المنشأ مقرراً.

ويستثنى من القانون السابق بعض الحالات الخاصة للمنشآت ذات الأبعاد المعينة والحمولات الخاصة، حيث يمكن أن تزيد فيها قيمة (N) عن (n + 1).



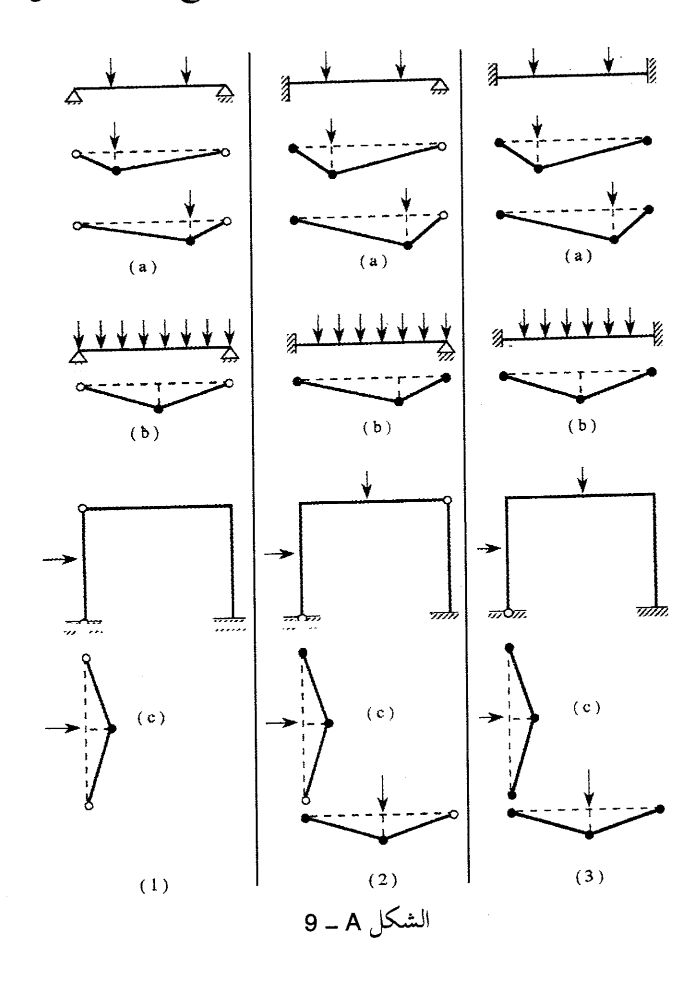
الشكل A ـ 8 ـ يرمز للمفصل اللدن بدائرة سوداء وللمسند المفصلي بدائرة بيضاء.

يمكن التعرف على أنواع الميكانزمات من خلال المنشأ الموضح في الشكل (A ـ 8) حيث تشكل كل حمولة مطبقة نوع معين من آلية الانهيار اللدن.

وواضح في الشكل السابق أن كل حمولة من تلك المطبقة تشكل آلية انهيار لدن معينة، حيث تولد عدداً من المفاصل اللدنة عند أكثر نقاط المنشأ تأثراً بهذه الحمولة.

أولاً ـ ميكانزم الكمرة:

تتولد هذه الآلية في العناصر الإطارية الأفقية أو الشاقولية أو المائلة نتيجة الحمولات المركزة أو الموزعة، وذلك من خلال ثلاثة مفاصل ووفقاً لأحد النماذج التالية (الشكل A ـ 9):



الشكل A ـ 9

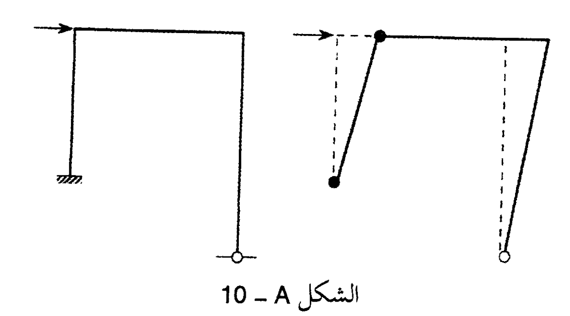
1 ـ مسندان مفصليان ومفصل لدن.

2 ـ مسندان لدنان ومسند مفصلي.

3 ـ ثلاثة مفاصل لدنة.

ثانيا ـ ميكانزم الانزياح الجانبي:

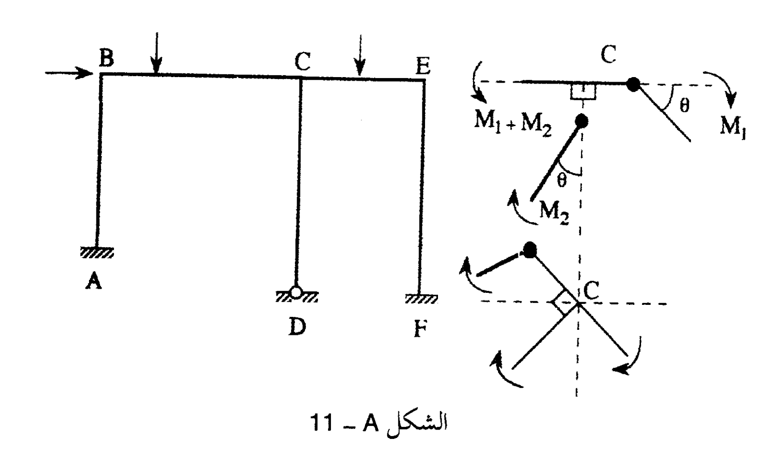
تتولد هذه الآلية في العناصر الإطارية التي تتعرض لانزياحات جانبية كما في الشكل (A ـ 10).



الشكل A ـ 10

ثالثا ـ ميكانزم العقدة:

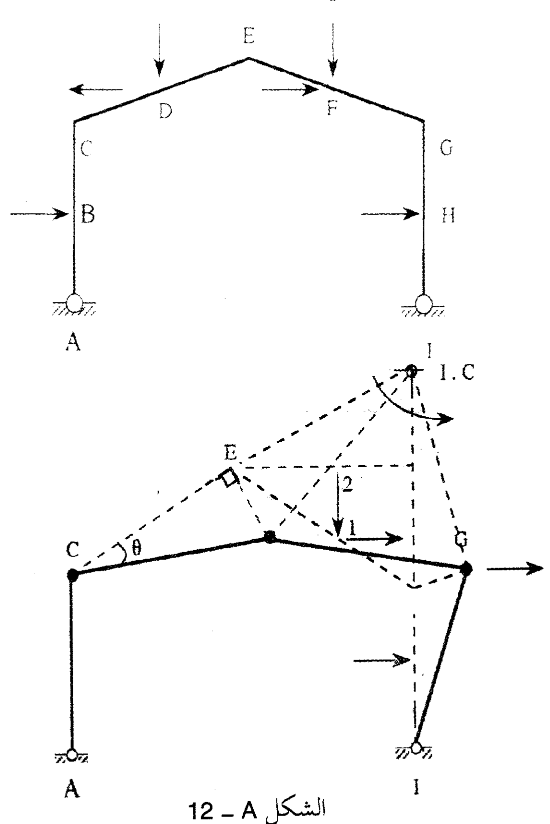
تتولد هذه الآلية في العقد التي يتلاقى عندها أكثر من عنصرين حيث تدور هذه العقدة بزاوية معينة بسبب ميكانزمات الانزياح الجانبي المتولدة عن الحمولات الخارجية وبحيث تبقى متوازنة بعد الدوران كما في الشكل (A ـ 11).



الشكل A ـ 11

رابعاً ـ ميكانزم الفتحة (المركز اللحظي أو الجمالون):

وتتولد هذه الآلية في بعض الإطارات السنمية بسبب دوران العناصر الشاقولية والمائلة فيها حول مركز معين يدعى بالمركز اللحظي كما في الشكل (A ـ 12).



الشكل A ـ 12

A ـ 6 ـ 2 الميكانزمات المركبة (Compose mechanisms)

يعرف الميكانيزم المركب بأنه تقنية انهيار المنشأ من خلال تشكيله لعدد من المفاصل اللدنة تتولد عن كافة الحمولات المطبقة على المنشأ.

وتشكل الميكانزمات الأربعة المستقلة السابقة ميكانزم مركب في المنشأ الموضح في الشكل (A ـ 8) في حال طبقت الحمولات المبينة على هذا المنشأ معاً.

A ـ 7 نظريات التحليل اللدن Theories of Plastic Analysis

تسمى الحمولة التي يصل معها المنشأ إلى زيادة التشوهات بثبات الإجهادات بالحمولة الحدية أو بحمولة الانهيار (P_u). ويترافق الوضع الحدي للمنشأ مع تطبيق هذه الحمولة بحيث يمكن تطبيق الافتراضات التالية:

1 ـ تصل العزوم في المنشأ إلى قيم العزوم اللدنة (M_p).. ولا تزيد العزوم المطبقة عن هذه القيمة. حيث يتحول المنشأ إلى ميكانزم من خلال تشكيل عدد محدد من المفاصل اللدنة وفقا لما سبق.

2 ـ يبقى توزع العزوم ثابتا على طول العناصر في المنشأ عند تشكل الميكانيزم، بالرغم من ثبات الحمولات وتزايد التشوهات.

A ـ 7 ـ 1 النظرية الستاتيكية (Static Theory)

يفترض في هذه النظرية أن الحمولة المطبقة (P) لا تزيد عن حمولة الانهيار (P_u) لأن العزم المتولد في أية منطقة (M) لا يزيد عن العزم اللدن (M_p).. وهي تستخدم في الطرق اليدوية لتحليل العناصر الإطارية ذات القساوات (Stiffness) الثابتة أو المتغيرة.

A ـ 7 ـ 2 النظرية الحركية (Kinematic Theory)

تعتمد هذه النظرية على مبدأ العمل الوهمي حيث يعطى المنشأ انزياحات وهمية متناسقة مع حركة الميكانزمات المفترضة. ويحسب العمل الخارجي المتولد كمجموع جداءات القوى الخارجية بالانتقالات الموافقة لها.

كما يحسب العمل الداخلي المتولد كمجموع جداءات القوى الداخلية بدورانات المفاصل اللدنة.

ولا تولد العزوم الواقعة بين المفاصل أي عمل داخلي طالما أنه لم تتغير درجات الانحناء في الأجزاء المرنة من المنشأ.

الملحق B. مقدمات في الديناميك وعلم الحركة

- **الهدف من هذا الملحق**

يهدف هذا الملحق إلى التذكير بشكل مختصر بالقوانين الفيزيائية المتعلقة بحركة الأجسام. وخاصة الحركات الاهتزازية منها، والتي تساعد على فهم حركة المنشآت تحت الحمولات الديناميكية كحمولات الزلازل مثلاً.

B ـ 1 تذكير بقوانين نيوتن في الحركة

1 ـ القانون الأول:

إذا كانت الكتلة المادية ساكنة أو متحركة بحركة مستقيمة منتظمة، فإن هذه الكتلة تبقى على حالها ما لم تجبرها قوة ما على تغيير وضعها. ويسمى هذا القانون أيضاً بقانون العطالة.

وينتج عن هذا القانون أن تغير سرعة الكتلة ينجم عن القوة.

2 ـ القانون الثاني:

يتناسب تسارع الكتلة المادية مع القوى المطبقة، ويكون هذا التسارع على نفس حامل القوة.

وينتج عن هذا القانون الدستور الرياضي المعروف ($F = w . a / g$).

3 ـ القانون الثالث:

لكل فعل رد فعل يساويه في القيمة ويعاكسه بالاتجاه.

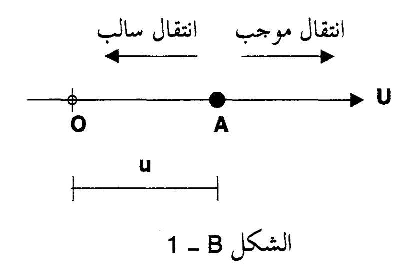
B ـ 2 الحركات المتغيرة مع الزمن

يدرس الديناميك الإنشائي الوضع التوازني للكتل وهي في حالة الحركة، لذلك فهو يتعامل مع الزمن إضافةً إلى الكتلة والأبعاد.فحركة كتلة مادية مهملة الأبعاد في الفراغ يمكن أن تكون منحنية في الفراغ أو منحنية في مستوي أو حركة مستقيمة (أو انسحابية).

B ـ 2 ـ 1 الحركة المستقيمة

B ـ 2 ـ 1 ـ 1 الانتقال Displacement

يدعى انتقال كتلة مادية على خط مستقيم بالحركة المستقيمة أو الانسحابية وينسب إلى نقطة ثابتة (O) كما في (الشكل B ـ 1).



الشكل B ـ 1

يتم التعبير تحليليا عن تغير الانتقال مع الزمن بالعلاقة

$$u = f(t) \qquad (1)$$

أي أن الانتقال تابع للزمن.

تسمى هذه العلاقة بالمعادلة الزمنية للحركة وتتخذ أشكالا مختلفة بحسب طبيعة حركة الكتلة على المحور (U).

ففي حالة الحركة المستقيمة المنتظمة تكون المعادلة الزمنية:

$$u = b\,t + c \qquad (2)$$

حيث (b) معدل ازدياد الانتقال.. و (c) الانتقال البدئي للكتلة في اللحظة (0 = t).

أما الحركة المستقيمة المتغيرة بانتظام كحركة السقوط الحر مثلا فيعبر عنها بالمعادلة الزمنية:

$$u = \frac{1}{2} g\, t^2 \qquad (3)$$

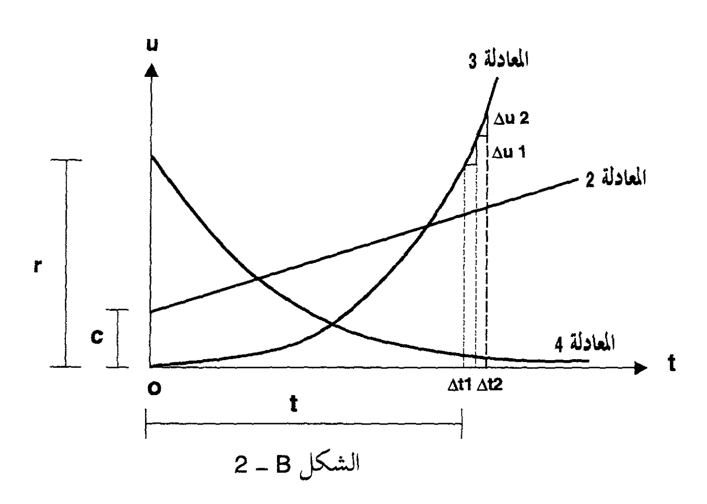
حيث (g) تسارع الثقالة الأرضية (gravity).

وهناك شكل آخر من الحركات المستقيمة يتمثل بالمعادلة الزمنية التالي:

$$u = r e^{-kt} \qquad (4)$$

وهو يعبر عن الحركة التي يتناقص فيها الانتقال مع الزمن تناقصاً أسياً، كحركة الكتلة المادية المدروسة في وسط عالي اللزوجة يعمل على تخامد الحركة.

يستغنى غالباً عن استخدام المعادلات الرياضية في تمثيل الحركات المذكورة، ويستعاض عن ذلك بمخطط بياني يسمى مخطط (الانتقال ـ الزمن) كما في الشكل (B ـ 2).



الشكل B ـ 2

B ـ 1 ـ 1 ـ 2 السرعة Speed

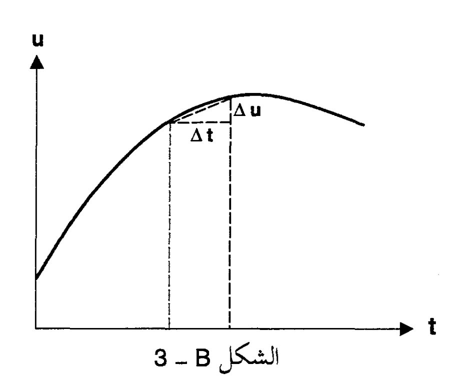
تعرف السرعة الوسطية لحركة كتلة مادية مستقيمة وغير منتظمة ممثلة بالمعادلة (3) أعلاه بالعلاقة:

$$v_{av} = \frac{\Delta u}{\Delta t} \qquad (5)$$

لذلك تكون السرعة اللحظية:

$$v = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta u}{\Delta t} = \frac{du}{dt} = u` \qquad (6)$$

وتمثل هذه المعادلات تخطيطاً أيضاً كما في الشكل (B ـ 3).



الشكل B – 3

يمكن إذن الاستفادة من المعادلة السابقة لإيجاد السرعات في الحركات المختلفة الممثلة بالمعادلات (2 و 3 و 4) كما يلي:

$$v = \frac{d\,(c + b\,t)}{d\,t} = b \qquad (7)$$

$$v = \frac{d\,(c\,t^{2})}{d\,t} = 2\,c\,t \qquad (8)$$

$$v = \frac{d\,(r\,e^{-kt})}{d\,t} = -r\,k\,e^{-kt} \qquad (9)$$

ويمكن تمثيل هذه السرعات أيضاً بشكل تخطيطي.

B – 2 – 3 – 1 التسارع Acceleration

يعرف التسارع رياضياً بأنه مشتق السرعة. وبالتالي فتسارعات الحركات الثلاث السابقة تصبح كما يلي، مع إمكانية تمثيله تخطيطاً أيضاَ:

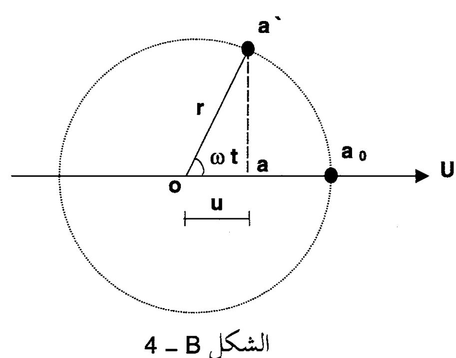
$$a = \frac{d_2\,(c + b\,t)}{d\,t^{2}} = 0 \qquad (10)$$

$$a = \frac{d_2\,(c\,t^{2})}{d\,t^{2}} = 2\,c \qquad (11)$$

$$a = \frac{d_2\,(r\,e^{-kt})}{d\,t^{2}} = -r\,k^{2}\,e^{-kt} \qquad (12)$$

B – 2 – 2 الحركة الدورانية

تعرَّف السرعة الزاوية (ω) بأنها الزاوية التي يمسحها نصف القطر خلال فترة زمنية (t) مقاسةً بالراديان.



الشكل B – 4

ونجد من تطبيق العلاقات المثلثية على حركة الكتلة المادية الموضحة في الشكل (B – 4) أن:

$$(13) \quad u = r \cos \omega t$$

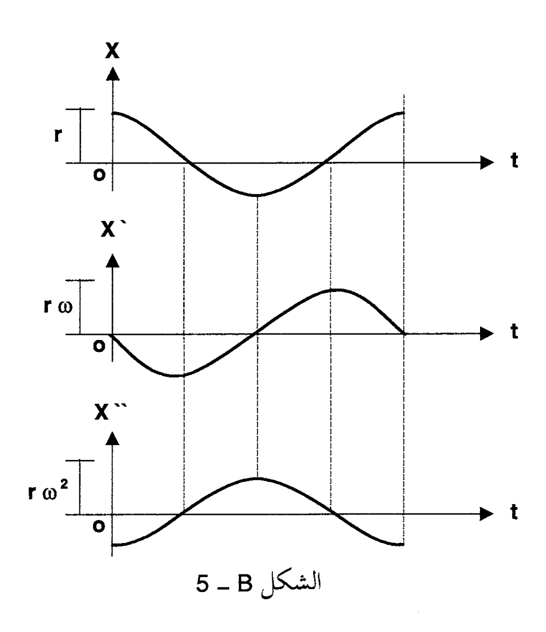
تسمى الحركة المذكورة في هذه الحالة بالحركة التوافقية البسيطة. وتحتاج الكتلة المدروسة لكي تدور دورة كاملة ، إلى نفس الزمن الذي يحتاجه نصف القطر الشعاعي (oa` = r) لكي يقطع دورة كاملة بدوران منتظم. وتدعى هذه الفترة بدور الحركة التوافقية البسيطة. (انظر الفقرة B – 4) أدناه.

يتبع دور الحركة التوافقية البسيطة المقدار الثابت (π) لذلك فهو يساوي (2π / ω).. إذن تصبح معادلات السرعة والتسارع كما يلي:

$$(14) \quad u` = - r \omega \sin \omega t$$

$$(15) \quad u`` = r \omega^2 \cos \omega t$$

نرسم بالتالي مخططات الانتقال والسرعة والتسارع من هذه المعادلات كما قي الشكل (B – 5). ونستنتج من هذه المعادلات أن الحركة التوافقية البسيطة هي حركة دورية لأن المخططات المذكورة تتكرر كل فترة قدرها (2π / ω). (يجب الانتباه إلى عدم الخلط بين الحركة الدورية والحركة الترددية).



الشكل B ـ 5

B ـ 2 ـ 3 الحركة المنحنية في الفراغ

B ـ 2 ـ 3 ـ 1 الانتقال Displacement

تسمى الحركة منحنية إذا كان مسار الكتلة المادية المدروسة كذلك.. ويعطى الانتقال في هذه الحالة من أجل الحركة المنحنية ضمن مستوي بالعلاقتين التاليتين:

$$x = f_1 (t)$$

$$y = f_2 (t)$$

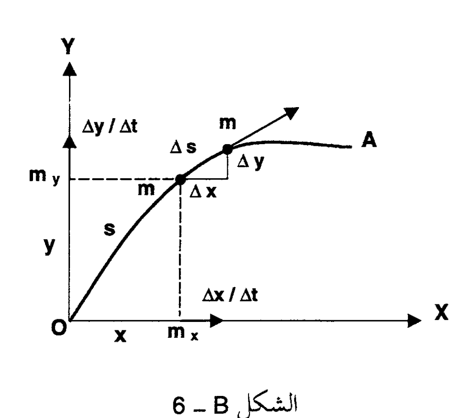
وتمثل هاتان المعادلتان مسارين مستقيمين على كل من (OX , OY).

يمكن أن نكتب إذن:

$$y = f (x)$$

$$s = f_1 (t)$$

وبالاستعانة بالشكل (B ـ 6) نجد أن المعادلة الأولى (y) تمثل انتقال الكتلة (m) على المستقيم (o A)، وتمثل المعادلة الثانية (s) الانتقال على المنحني (s). ويمكن من أجل ذلك اعتبار أن الحركة المنحنية مركبة من حركتين مستقيمتين.



الشكل B ـ 6

B ـ 2 ـ 3 ـ 2 السرعة Speed

بالاعتماد على ما سبق تعطى مركبات السرعة كما يلي:

$$v_x = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt} = x' \qquad (16)$$

$$v_y = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta y}{\Delta t} = \frac{dy}{dt} = y' \qquad (17)$$

ونذكر هنا بأن سرعة المسقط يساوي مسقط السرعة. لذلك تكون السرعة الشعاعية الكلية:

$$v = \sqrt{x'^2 + y'^2} \qquad (18)$$

B ـ 2 ـ 3 ـ 2 التسارع Acceleration

$$a_x = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta x'}{\Delta t} = \frac{dx'}{dt} = x'' \qquad (19)$$

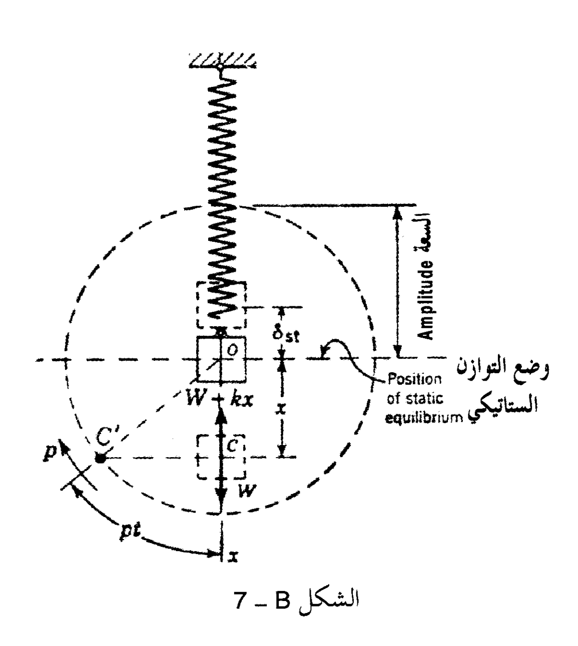
$$a_y = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta y'}{\Delta t} = \frac{dy'}{dt} = y'' \qquad (20)$$

ويكون التسارع الشعاعي الكلي أيضا:

$$a = \sqrt{x''^2 + y''^2} \qquad (21)$$

B ـ 4 الاهتزاز الحر Free vibration

نتيجة لثقل الكتلة الساكنة (W) المعلقة بالنابض الموضح في الشكل (B ـ 7) فهو يستطيل شاقوليا بمقدار (δ st). ويتولد فيه توتر معين يوازن الثقل المذكور فتبقى الجملة بوضع التوازن.



الشكل B ـ 7

تبدأ الكتلة (W) بالاهتزاز شاقوليا عند إزاحة الكتلة المذكورة نحو الأسفل، حيث يزداد التوتر (S) في النابض وينعدم التوازن.

يعطى التوتر المذكور الموافق لأي انتقال (x) عن وضع التوازن طيلة فترة الحركة بالعلاقة:

$$S = W + K x \qquad (22)$$

حيث (K) معامل التناسب بين التوتر والاستطالة الموافقة، والذي يسمى بثابت النابض. والذي يعرف أيضا بأنه مقدار القوة التي تجعل النابض يستطيل بمقدار واحدة الأطوال.

$$\delta_{st} = W / K \qquad (23)$$

وبتطبيق المعادلة التفاضلية للحركة على العلاقة السابقة نجد:

$$\frac{W}{g}\ddot{x} = W - (W + K\,x) = -K\,x \qquad (24)$$

وهذا يعني أن التسارع يصبح سالبا عندما يكون الانتقال موجبا (أو العكس).

بتقسيم طرفي المعادلة الأخير على (W / g) نجد:

$$\frac{Kg}{W} = P^2$$

تصبح إذن المعادلة (25) كما يلي:

$$\ddot{x} + P^2\,x = 0 \qquad (25)$$

وهي المعادلة التفاضلية للاهتزازات الحرة. وهي معادلة تفاضلية متجانسة من المرتبة الثانية وذات أمثال ثابتة. ويكون الحل العام لها:

$$x = C_1 \cos pt + C_2 \sin pt \qquad (26)$$

حيث (C_1 , C_2) ثابتا التكامل.

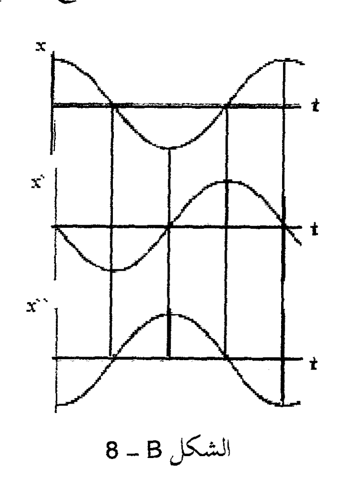
نستطيع أن نصل من المعادلة السابقة إلى الشكل النهائي للمعادلة التفاضلية المذكورة كما يلي:

$$x = x_0 \cos pt \qquad (27)$$

حيث (x_0) الانتقال الأولي (الإزاحة البدئية) للكتلة (W) عن وضع التوازن وتسمى **بسعة الاهتزاز**.

وبمقارنة هذه المعادلة بالعلاقة (13) نجد أيضا أن الحركة المدروسة هي حركة توافقية بسيطة..

والشكل (B ـ 8) يوضح مخططات الانتقال والسرعة والتسارع كتوابع للزمن.



الشكل B ـ 8

يدعى الزمن اللازم لكي تتم الكتلة دورة كاملة ($2\pi / p$ sec) **بدور الحركة**.. أي:

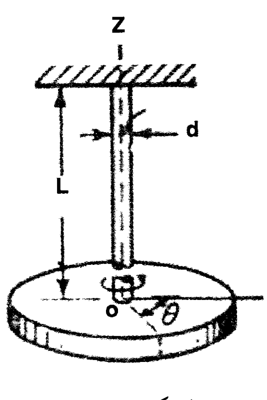
$$\tau = \frac{2\pi}{p} = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K\ g}} = 2\pi \sqrt{\frac{\delta_{st}}{g}} \qquad (28)$$

كما يدعى عدد الدورات في الثانية (f) بتواتر الاهتزاز:

$$f = \frac{1}{\tau} = \frac{P}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K\ g}{W}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{\delta_{st}}} \qquad (29)$$

B – 5 اهتزاز اللي Twist Vibration

يبين الشكل (B – 9) قرصا دائريا مستويا معلقا بذراع مهمل الكتلة.. نعرض القرص إلى عزم فتل خارجي (M) يديره بزاوية (θ) تقاس بالراديان، لكي يهتز بشكل فتلي (Twisting).



الشكل B – 9

ومع إهمال كتلة الذراع ونقصان المرونة فيه والتخامد الناتج عن مقاومة الهواء، تكون المعادلة التفاضلية للحركة:

$$M = I\,\ddot{\theta} \qquad (30)$$

حيث (I) عزم عطالة القرص بالنسبة لمحور الدوران (Z).

وعندما تنطبق قوة الثقالة على المحور المذكور، ينتفي إسهامها في العزم الخارجي (M) الذي يؤثر بالكتلة المدروسة. لذلك يدخل تأثير رد الفعل لمادة للنابض بشكل عزم إرجاع يحسب كما يلي:

$$M = -k_t \theta \quad (31)$$

حيث (k) ثابت النابض الفتلي، ويعرف بأنه العزم اللازم لتوليد زاوية فتل قدرها (1 rad).

وتدل الإشارة السالبة على الاتجاه المعاكس للحركة القسرية (رد الفعل).

عندما يكون الذراع أسطوانيا تكون العلاقة بين عزم الفتل وزاوية الفتل كما يلي:

$$\theta = \frac{M\ L}{G\ J} \quad (32)$$

حيث (L) طول الذراع.

(G) معامل مرونة القص للمادة.

(J) عزم العطالة القطبي للمقطع العرضي الدائري للذراع*.. ($J = \pi d^4 / 32$).

نجد من العلاقتين السابقتين أن:

$$K_t = \frac{G\ J}{L} \quad (33)$$

ونجد من المعادلتين (30) و(31) أن:

$$- K_t \theta = I \theta''$$

وإذا افترضنا أن:

$$P^2 = \frac{K}{I} = \frac{G\ J}{I\ L}$$

يكون:

$$\theta'' + P^2 \theta = 0 \quad (34)$$

وهي معادلة تفاضلية مشابهة للمعادلة (25) في الاهتزازات الحرة لكتلة معلقة بنابض. لذا فالحل العام لهذه المعادلة:

$$\theta = C_1 \cos p t + C_2 \sin p t \quad (35)$$

حيث (C_1 , C_2) ثابتا التكامل.

ونستطيع أن نصل من المعادلة السابقة إلى الشكل النهائي للمعادلة التفاضلية المذكورة كما يلي:

$$\theta = \theta_0 \cos p t \quad (36)$$

* يجب الانتباه إلى عدم الخلط بين عزم العطالة القطبي للمساحة (cm^4)، و عزم عطالة الكتلة (kg . sec . cm).

حيث (θ_0) زاوية الدوران الأولية (الإزاحة البدئية) للقرص عن وضع التوازن وتسمى **بسعة الاهتزاز**.

يدعى الزمن اللازم لكي يتم القرص دورة كاملة **بدور الحركة**.. أي:

$$\tau = \frac{2\pi}{p} = 2\pi\sqrt{\frac{I\,L}{G\,J}} \qquad (37)$$

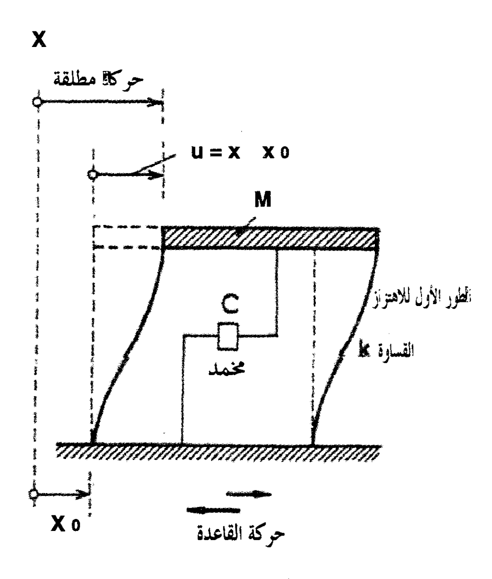
كما يدعى عدد الدورات في الثانية (f) بتواتر الاهتزاز:

$$f = \frac{1}{\tau} = \frac{P}{2\pi} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{G\,J}{I\,L}} \qquad (38)$$

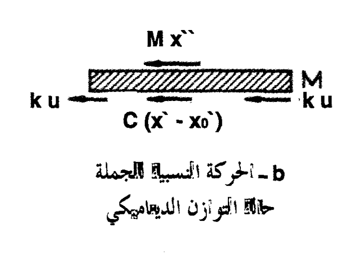
ويزداد هذا التواتر بزيادة قساوة الفتل للذراع، وينقص بزيادة عزم عطالة القرص.

B ـ 6 المعادلات الزمنية لجملة مهتزة ذات درجة حرية واحدة

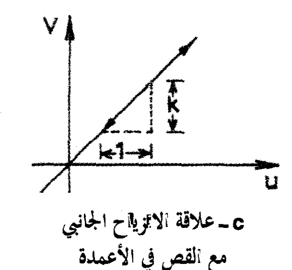
لندرس حركة الجملة الموضحة في الشكل (B ـ 10) تحت حركة هزة أرضية.



a الحركة المطلقة للجملة مع القاعدة.



b ـ الحركة النسبية للجملة حالة التوازن الديناميكي



c ـ علاقة الانزياح الجانبي مع القص في الأعمدة

الشكل (B ـ 10) ـ جملة ذات درجة حرية واحدة (SDOF) محرضة بحركة القاعدة.

تمثل الجملة المعطاة بناء من طابق واحد ممثل بكتلته (M) المركزة في البلاطة الصلبة والمثبتة على عمودين مرنين تشوهاهما المحورية مهملة، ويتحركان ضمن مجال المرونة فقط (أي يحققان العلاقة $F = k\,u$

تكتب معادلة توازن القوى في هذه الجملة كما يلي:

$$F_i + F_d + F_e = P(t) \qquad (39)$$

حيث:

(F_i) ـ قوة العطالة .. $F_i = M\,u''$ (u'' ـ تسارع الجملة).

(F_d) ـ قوة التخميد .. $F_d = C\,u'$ (u' ـ سرعة الجملة).

(F_e) ـ قوة الإرجاع المرن .. $F_e = K\,u$ (u ـ انتقال الجملة).

(C) ـ التخامد اللزج (viscous damping). وهو يتناسب مع السرعة النسبية للاهتزاز.

والقوتان (F_d , F_e) تسعيان لإعادة الجملة إلى الوضع السابق.

وباعتبار أن الجملة تنوس بتأثير الهزة الزلزالية التي يعبر عنها بالمعادلة التفاضلية : $x''_o(t)$ تكون الحمولة الخارجية المطبقة هي التسارع عند القاعدة (x''_o) فقط. وبذلك يتم التعبير عن كل من التسارع الكلي للجملة (x''_o) والسرعة الموافقة (x') والانتقالات (x) بالعلاقات التالية:

$$\begin{aligned} x &= x_0 + u \\ x' &= x'_0 + u' \qquad (40) \\ x'' &= x''_0 + u'' \end{aligned}$$

وبتطبيق مبدأ دالامبير في التوازن الديناميكي نحصل على معادلة الحركة للجملة ذات درجة الحرية الوحيدة كما يلي:

$$M \qquad 0 \qquad 0) = 0 \qquad (41)$$

$$M\,x'' + c\,u' + k\,u = -M\,x''_0(t) \qquad (42)$$

وتعتبر معادلة الحركة التي توصف التسارع القاعدي التابع للزمن من أهم عوامل الهزة. ويعبر عنها عادة بالمنحني البياني لهذا التسارع.

إذا أصبحت القوة المسببة للاهتزاز أثناء الهزة مساوية للصفر $x_0(t) = 0$ فإن الجملة تستمر بالاهتزاز بشكل حر. وفي هذه الحالة تصبح العلاقة من أجل التخامد الذي يساوي كما يلي:

$$u = u_0 \sin \frac{2\pi}{T_0} t \qquad (43)$$

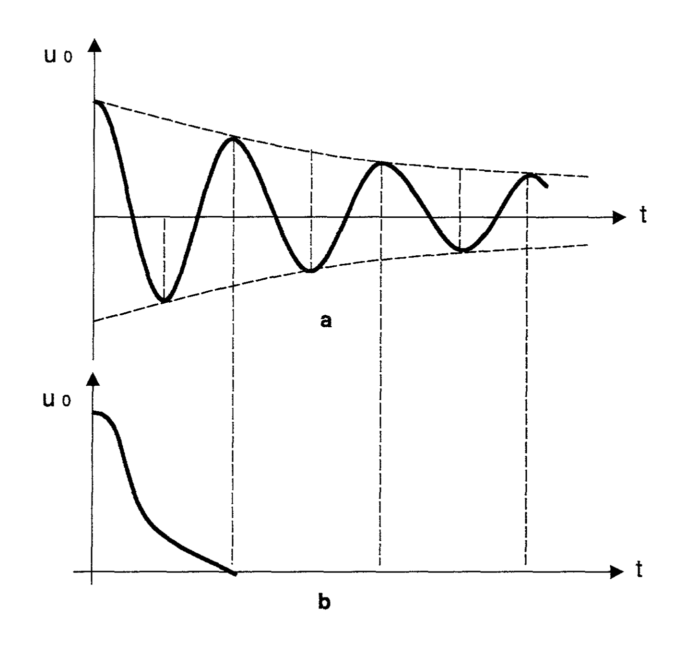
حيث:

(T_0) الدور الطبيعي الذي يعبر عن الثابت الديناميكي للجملة، والذي تدخل فيه الخواص المميزة لها والتي يعبر عنها كل من الكتلة (M) وثابت النابض (k).

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{M}{k}} = \frac{2\pi}{\omega} (s) \qquad (44)$$

(ω) التردد الزاوي الطبيعي مقدر بالراديان في الثانية (rad / s).

إذا لم يكن التخامد مساويا للصفر تطبق العلاقة التالية (انظر الشكل B ـ 11):



الشكل (3 ـ 4) اهتزاز حر مع تخامد

(a) ـ انزياح نسبي ابتدائي. (b) ـ انزياح ابتدائي مع تخامد حرج.

معجم مصطلحات هندسية عامة

adjacent	مجاور ، قريب	curvature	انحناء ، تقوس
admissible load	حمولة مسموحة	dimensions	أبعاد
admixture	خلطة ، مزيج	design procedures	إجراءات التصميم
aggregates	حصويات (ركام)	stress	إجهاد
allowable	مسموح	bond stress	إجهاد التماسك
alternate	بديل أو متناوب	yield strength of steel	إجهاد الخضوع للصلب
analysis	تحليل	principal stress	إجهاد رئيسي
anchorage	إرساء ،ثبات	tensile stress	إجهاد الشد
area	مساحة (منطقة)	compressive stress in concrete	إجهاد الضغط في الخرسانة
associated	مشترك، مرافق	compressive stress in steel	إجهاد الضغط في الفولاذ
assumption	افتراض	torsional stress	إجهاد اللي ، الفتل
balanced steel area	مساحة التسليح التوازني	admissible stress	إجهاد مسموح
bar (rod)	قضيب	total load	حمولة كلية (حالة الاستثمار)
base	قاعدة	clear height	ارتفاع صافي
beam	كمرة ، جائز	anchorage	إرساء ،ثبات
bearing	محمل ،تحميل ، مسند	floor	أرضية ، بلاطة
bending moment	عزم الانعطاف	displacement	إزاحة أو انزياح
bid (tender)	مناقصة (عطاء)	foundation	أساس
binder	رابط	footing،continuous	أساسات مستمرة
bond stress	إجهاد التماسك أو الترابط	footing،isolated	أساسات منفصلة

boundary element	عنصر طرفي أو محيطي	stability	استقرار ،ثبات
buckling	انبعاج (تحنيب)	structural framing	إطارات إنشائية
buckling factor	معامل التحنيب	assumption	افتراض
cantilever	ظفر (كابول)	horizontal	أفقي
capacity	قدرة ، سعة ، طاقة	total ultimate load	حمل كلي أقصى
casting	صب	buckling	انبعاج أو تحنيب
characteristic strength	مقاومة مميزة	relative displacement	انزياح نسبي
clear height	ارتفاع صافي	combined flexural	انعطاف مركب
collapse limit state	حالة حد الانهيار	strain	انفعال (تشوه نسبي).
column capital	تاج العمود	yield strain in steel	انفعال الخضوع للصلب
column strip	شريحة عمودية أو مسندية	equivalent axial strain	تشوه محوري مكافئ
combination	تركيب ،توحيد ،تجميع	fracture	انكسار، انهيار
combined flexural	انعطاف مركب	shrinkage	انكماش
compatibility of strains	توافقية الانفعالات أو التشوهات	failure (collapse)	انهيار
compliance	ليونة، مطاوعة	span	بحر ، مجاز
compressive stress in concrete	إجهاد الضغط في الخرسانة	gravel	بحص (حصى)
compressive stress in steel	إجهاد الضغط في الفولاذ	alternate	بديل أو متناوب
concentrated load	حمولة مركزة	folded plates	بلاطات منكسرة
concrete	خرسانة	solid slab	بلاطة مصمتة
connection	وصلة ،عقدة	ribbed slab	بلاطة معصبة
contraction joint	فاصل تقلص	slab with recesses	بلاطة مفرغة
corrosion	تآكل	slenderness effects	تأثيرات النحافة

cover	غطاء (طبقة تغطية)	column capital	تاج العمود
cracking	تشقق	corrosion	تآكل
creep	زحف (سيلان)	load test	تجربة تحميل
critical section	مقطع حرج	analysis	تحليل
cross -sectional area	مساحة المقطع الكلي	experimental analysis	تحليل تجريبي
curvature	انحناء ، تقوس	elastic analysis	تحليل مرن
deep beam	كمرة عميقة	scaling	تدريج
deflection	سهم ،انحراف	wetting	ترطيب.
deformation	تشكل،تشوه	combination	تركيب ،تجميع
deformed bars	قضبان محلزنة أو ذات نتوءات	plain reinforcement	تسليح أملس
depth	عمق ،ارتفاع	spiral reinforcement	تسليح حلزوني
design assumptions	فرضيات التصميم	longitudinal reinforcement	تسليح طولي
design procedures	إجراءات التصميم	transverse reinforcement	تسليح عرضي
detailed	مفصل ،تفصيلي	cracking	تشقق
development length	طول التثبيت أو الإرساء	deformation	تشكل،تشوه
diagonal	قطري	increase	تصعيد ،زيادة
diaphragm	ديافرام، رابط غشائي	empirical design	تصميم تجريبي
dimensions	أبعاد	modification of moments	إعادة توزيع العزوم
displacement	إزاحة أو انزياح	tolerance	سماحية
distribution loads	حمولات موزعة	splitting	تمزق، انفصال
drop panel	لوح ساقط	compatibility of strains	توافقية الانفعالات (التشوهات)
dual	ثنائي ،مزدوج ،مضاعف	dual	ثنائي، مزدوج، مضاعف
earthquake	زلزال ،هزة أرضية	lateral	جانبي
earthquake intensity	شدة الزلزال	retaining wall	جدار استنادي
earthquake load	حمل الزلازل	nonbearing walls	جدران غير حمالة

eccentricity	لامركزية	strand	جديلة (لمسبق الإجهاد)
effective depth	عمق فعال	web of beam	جسد الكمرة ، عصب الجائز
elastic analysis	تحليل مرن	frame system	جملة إطارية
element	عنصر ،عضو	flange	جناح الضغط
empirical design	تصميم تجريبي	ultimate limit state	حالة الحد الأقصى
equivalent axial strain	تشوه محوري مكافئ	serviceability limit state	حالة حد الاستثمار
excavation	حفريات	collapse limit state	حالة حد الانهيار
expansion joint	فاصل تمدد	aggregates	حصويات (ركام)
experimental analysis	تحليل تجريبي	excavation	حفريات
factor of safety	معامل الأمان	earthquake load	حمل الزلازل
factored force	قوة عاملة أو مطبقة	service load	حمولات التشغيل
failure (collapse)	انهيار	distribution loads	حمولات موزعة
filling	ردم	gravity load	حمولة الثقالة
fine aggregate	ركام ناعم (رمل)	wind load	حمولة الرياح
fixed beam	كمرة موثوقة	imposed load	حمولة حية
flange	جناح الضغط	live load	حمولة حية
floor	أرضية ، بلاطة	ultimate load	حمولة قصوى.
folded plates	بلاطات منكسرة	concentrated load	حمولة مركزة
footing،continuous	أساسات مستمرة	admissible load	حمولة مسموحة
footing،isolated	أساسات منفصلة	concrete	خرسانة
force	قوة	plain concrete	خرسانة عادية
form	قالب	hardened concrete	خرسانة متصلبة
foundation	أساس	precast concrete	خرسانة مسبقة الصنع
fracture	انكسار، انهيار	wood	خشب
frame system	جملة إطارية	admixture	خلطة ، مزيج
framed building	مبنى هيكلي	pier	دعامة

English	Arabic
friction loss in post- tensioning tendons	فواقد الاحتكاك لأوتار الشد اللاحق
gravel	بحص (حصى)
gravity load	حمولة الثقالة
gross area	مساحة إجمالية
hardened concrete	خرسانة متصلبة
hook	عكفة
hoop	أسوارة أو طوق عمود
horizontal	أفقي
imposed load	حمولة افتراضية
increase	تصعيد ،رفع ،زيادة
irregular	غير منتظم
joint	فاصل ، مفصل ، وصلة
joists constriction	منشآت معصبة
junction	ربطة،وصلة
lap splice	وصلة تراكب
lateral	جانبي
length	طول
lintel deflection	سهم أولي أو لحظي
live load	حمولة حية
load test	تجربة تحميل
long- time deflection	سهم طويلة الأجل
longitudinal reinforcement	تسليح طولي
loss of prestress	فواقد مسبق الإجهاد
middle strip	شريحة وسطية أو مجازية

English	Arabic
support	دعامة، مسند، ركيزة
diaphragm	ديافرام ، رابط غشائي
binder	رابط
shearhead	رأس القص
tie	ربطة، رابط ، رباط ، مربط ، شداد
junction	ربطة، وصلة
filling	ردم
fine aggregate	ركام ناعم (رمل)
sand	رمل
creep	زحف (سيلان).
earthquake	زلزال ،هزة أرضية
thickness	سماكة (ثخانة)
total thickness of section	سماكة كلية للمقطع
deflection	سهم ،انحراف
lintel deflection	سهم أولي أو لحظي
long- time deflection	سهم طويلة الأجل
yielding	سيلان، خضوع
earthquake intensity	شدة الزلزال
column strip	شريحة عمودية أو مسندية
middle strip	شريحة وسطية أو مجازية
casting	صب
rigidity	صلابة
water pressure	ضغط الماء
stiffness method	طريقة القساوة

modification of moments	إعادة توزيع العزوم	hoop	أسوارة عادية أو حلزونية
modulus (factor ،coefficient)	معاير ، معامل	length	طول
modulus of elasticity	معامل المرونة	development length	طول التثبيت أو الإرساء
modulus of elasticity of steel	معامل مرونة الفولاذ	cantilever	ظفر (كابول)
modulus ratio	النسبة المعيارية	width of web (t. section)	عرض الجذع
moment of inertia	عزم القصور الذاتي، العطالة	width of section	عرض القطاع
mortar	مونة ، ملاط	bending moment	عزم الانعطاف
nonbearing walls	جدران غير حمالة	torsional moment	عزم الفتل (اللي)
normal force	القوة الناظمية أو المحورية	moment of inertia	عزم القصور الذاتي، العطالة
permissible stresses	إجهادات مسموحة	seismic joint	عقدة زلزالية
pier	دعامة	standard hooks	عكفات معيارية أو نظامية
plain bars	قضبان ملساء	hook	عكفة
plain concrete	خرسانة عادية	depth	عمق ،ارتفاع
plain reinforcement	تسليح أملس	effective depth	عمق فعال
plastic hinge	مفصل لدن	element	عنصر ،عضو
precast concrete	خرسانة مسبقة الصنع	boundary element	عنصر طرفي أو محيطي
prefabricated	مسبق الصنع	specimen	عينة
prestress losses	فواقد سبق الإجهاد	cover	غطاء (طبقة تغطية).
principal stress	إجهاد الرئيسي	unbalanced	غير متوازن
radius of gyration	نصف قطر الدوران (العطالة)	uncased	غير مصبوب بالمكان

relative displacement	انزياح نسبي	irregular	غير منتظم
responsibility	مسؤولية ،مهمة	joint	فاصل ، مفصل ، وصلة
retaining wall	جدار استنادي	contraction joint	فاصل تقلص
ribbed slab	بلاطة معصبة	expansion joint	فاصل تمدد
rigid	قاسي ،غير مرن	design assumptions	فرضيات التصميم
rigidity	صلابة	friction loss in post- tensioning tendons	فواقد الاحتكاك لأوتار الشد اللاحق
safety factor	معامل أمان	prestress losses	فواقد سبق الإجهاد
sand	رمل	loss of prestress	
scaling	تدريج	steel	فولاذ
seismic joint	عقدة زلزالية	rigid	قاسي ،غير مرن
service load	حمولات التشغيل	base	قاعدة
serviceability limit state	حالة حد الاستثمار	form	قالب
settlement	هبوط	capacity	قدرة ، سعة ، طاقة
shear force	قوة قص	shell	قشرية
shearhead	رأس القص	thin shell	قشرية رقيقة
shell	قشرية	deformed bars	قضبان ذات نتوءات (أو محلزنة)
shrinkage	انكماش	plain bars	قضبان ملساء
slab with recesses	بلاطة مفرغة	bar (rod)	قضيب
slenderness effects	تأثيرات النحافة	diagonal	قطري
slenderness ratio	نسبة نحافة	force	قوة
solid slab	بلاطة مصمتة	ultimate shearing force	قوة القص القصوى
span	بحر ، مجاز	factored force	قوة عاملة أو مطبقة
specimen	عينة	shear force	قوة قص
spiral reinforcement	تسليح حلزوني	normal force	قوة ناظمية أو محورة
splitting	تمزق، انفصال	beam	كمرة ، جائز

English	Arabic
splitting strength	مقاومة التشقق
stability	استقرار ،ثبات
standard hooks	عكفات معيارية أو نظامية
statically indeterminate structures	منشآت غير مقررة
steel	فولاذ
stiffness method	طريقة القساوة
straight	مستقيم
strain	انفعال (تشوه نسبي)
strand	جديلة (لسبق الإجهاد)
strength	مقاومة
stress	إجهاد
structural framing	إطارات إنشائية
strut	كمرة ربط، عمود قصير
support	دعامة (مسند ، ركيزة)
system	نظام ، جملة
tendon	وتر سبق الإجهاد
tensile strength of steel	مقاومة الصلب للشد (حد الانقطاع)
tensile stress	إجهاد الشد
thickness	سماكة (ثخانة)
thin shell	قشرية رقيقة
tie	ربطة ،رابط ،رباط ، مربط ، شداد

English	Arabic
strut	كمرة ربط، عمود قصير
deep beam	كمرة عميقة
fixed beam	كمرة موثوقة
eccentricity	لامركزية
drop panel	لوح ساقط
compliance	ليونة، مطاوعة
framed building	مبنى هيكلي
adjacent	مجاور ، قريب
bearing	محمل ،تحميل ، مسند
area	مساحة (منطقة)
gross area	مساحة إجمالية
balanced steel area	مساحة التسليح التوازني
cross -sectional area	مساحة المقطع الكلي
responsibility	مسؤولية ،مهمة
prefabricated	مسبق الصنع
straight	مستقيم
allowable	مسموح
joists constriction	منشآت معصبة
associated	مشترك، مرافق
factor of safety	معامل الأمان
buckling factor	معامل التحنيب

tolerance	سماحية	modulus of elasticity	معامل المرونة
torsional moment	عزم الفتل (اللي)	safety factor	معامل أمان
torsional stress	إجهاد اللي ، الفتل	modulus of elasticity of steel	معامل مرونة الفولاذ
total load	الحمل الكلي (حالة الاستثمار)	modulus (factor ،coefficient)	معاير ، معامل
total thickness of section	السماكة الكلية للمقطع	detailed	مفصل ،تفصيلي
total ultimate load	الحمل الأقصى الكلي	plastic hinge	مفصل لدن
transfer of moments	نقل أو انتقال العزوم	strength	مقاومة
transverse reinforcement	تسليح عرضي	splitting strength	مقاومة التشقق
ultimate limit state	حالة الحد الأقصى	yield strength	مقاومة الخضوع
ultimate load	حمولة قصوى	tensile strength of steel	مقاومة الصلب للشد (حد الانقطاع)
ultimate shearing force	قوة القص القصوى	ultimate strength	مقاومة القصوى
ultimate strength	مقاومة القصوى	characteristic strength	مقاومة مميزة
unbalanced	غير متوازن	critical section	مقطع حرج
uncased	غير مصبوب بالمكان	bid (tender)	مناقصة (عطاء)
water pressure	ضغط الماء	statically indeterminate structures	منشآت غير مقررة
web of beam	جسد الكمرة ، عصب الجائز	mortar	مونة ، ملاط
weight	وزن	modulus ratio	نسبة معيارية
wetting	ترطيب.	slenderness ratio	نسبة النحافة
width of section	عرض المقطع	radius of gyration	نصف قطر الدوران (العطالة)
width of web (T. section)	عرض الجذع	system	نظام ، جملة
wind load	حمولة الرياح	transfer of moments	نقل أو انتقال العزوم
wood	خشب	settlement	هبوط

yield strain in steel	انفعال الخضوع للفولاذ	tendon	وتر سبق الإجهاد
yield strength	مقاومة الخضوع (السيلان)	weight	وزن
yield strength of steel	إجهاد الخضوع للصلب	connection	وصلة ، عقدة
yielding	سيلان، خضوع	lap splice	وصلة تراكب

المحتويات

دمشق ـ شارع بورسعيد ـ هاتف 2211048 ـ فاكس 2211022 ـ ص . ب 5372